Institut für Pathologie

DISSERTATION

Möglichkeiten und Grenzen der Telepathologie in der Fetalpathologie

Zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.)

Medizinische Fakultät

von Kathrin Hamann

Dekan: Prof. Dr. med. J. W. Dudenhausen

Gutachter: 1. Prof. R. Bollmann

2. Prof. J. Szymasz

3. Prof. K. Kayser

eingereicht: 01.05.2002

Datum der Promotion: 16.09.2002

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS 2

1 EINLEITUNG 1

1.1 Das Perinatalzentrum an der Charité 1

1.2 Die Fetalpathologie 2
1.2.1 Fetalpathologie als Aufgabengebiet der Pathologie 2
1.2.2 Die Fetalpathologie als Bestandteil eines Perinatalzentrums 2
1.2.3 Aktuelle klinische Forderungen an die Fetalpathologie 3
1.2.4 Besonderheiten bei der Sektion von Feten 4
1.2.5 Probleme der Qualitätssicherung 4

1.3 Telepathologie in der Fetalpathologie 4
1.3.1. Telemedizin und Telepathologie 4
1.3.2. Anwendungsgebiete der Telepathologie 5
1.3.3. Anwendungsszenarien der Telepathologie in der Fetalpathologie 6
1.3.4. Prinzipien der Telepathologie 7
1.3.5. Voraussetzungen für die Nutzung von Telepathologie-Systemen 9
1.3.6. Aufbau und Funktion von Telepathologiesystemen 9
1.3.7. Makroskopie und Mikroskopie in der Telepathologie 11
1.3.8. Vorteile und Probleme der Telepathologie 14

2 AUFGABENSTELLUNG 15

3 MATERIAL UND METHODEN 16

3.1. Arbeitsplatz und Arbeitsablauf in der Fetalpathologie 16
3.1.1 Technische Ausstattung des Fetalpathologie-Arbeitsplatzes 16
3.1.2 Arbeitsablauf in der Fetalpathologie 19

3.2. Das Telepathologiesystem TPS 19
3.2.1. Technischer Aufbau der eingesetzten Systeme 19
3.2.2. Prinzipien der Kommunikation 21
3.2.3. Aktuelle Einsatzgebiete des TPS 22
3.2.4. Integration des TPS in den Arbeitsablauf der Fetalautopsie 23

3.3. Studie zur Bildqualität makroskopischer Bilder 26
3.3.1. Einflussfaktoren auf die Bildqualität 27
3.3.2. Auflösungsstudie - Studie Ia 29
3.3.3. Kompressionsstudie - Studie Ib 32
3.3.4. Objektive Kriterien für die Bildqualität 38

3.4. Fallstudien zum praktischen Einsatz der Telepathologie 38
3.4.1. Autopsiestudie zur Evaluation der Telepathologie (online) - Studie II 39
3.4.2. Herzstudie zur Evaluation der Telepathologie (offline) - Studie III 39

4 ERGEBNISSE 44

4.1. Anforderungen an die Bildqualität 44
4.1.1. Einflussfaktoren auf die Bildqualität 44
4.1.2. Ergebnisse der Auflösungsstudie - Studie Ia 46
4.1.3. Ergebnisse der Kompressionsstudie - Studie Ib 48

4.2. Das Telepathologiesystem TPS im Routineeinsatz 51
4.2.1. Autopsiestudie zur Evaluation der Telepathologie (online) - Studie II 52
4.2.2. Arbeitsablauf im Online-Modus 52
4.2.3. Herzstudie zur Evaluation der Telepathologie (offline) - Studie III 53
4.2.4. Einzelne Arbeitsabläufe im Offline-Modus 55

5 DISKUSSION 56

5.1. Relevanz der Aufgabenstellung 56

5.2. Eignung von Material und Methodik 56
5.2.1. Fallauswahl 56
5.2.2. Technik 57
5.2.3. Methodik 58

5.3. Anforderungen an die Bildqualität 59
5.3.1. Statische makroskopische Bilder 60
5.3.2. Statische mikroskopische Bilder 63
5.3.3. Dynamische Bilder 64

5.4. Anforderungen an den Routineeinsatz in der Fetalpathologie 65
5.4.1. Allgemeine Anforderungen an die Telepathologie 65
5.4.2. Spezifische Anforderungen an die Telepathologie 66

5.5. Eignung des TPS für die Fetalpathologie 66
5.5.1. Sektionsüberwachung - Autopsiestudie 67
5.5.2. Zweite Meinung - Herzstudie 67
5.5.3. Konsensfindung durch Telepathologie 67
5.5.4. Stand der Telepathologie in der Fetalpathologie 68

5.6. Panorama Telepathologie 69
5.6.1. Verbesserungsmöglichkeiten 69
5.6.2. Ausblick 70

6. ZUSAMMENFASSUNG 72

7. LITERATUR 74

1 Einleitung

Die Einleitung zeigt zunächst die Einbindung der Fetalpathologie in das klinische Umfeld der Diagnostik und Therapie von Fehlbildungen auf. Im zweiten Teil der Einleitung wird die Telepathologie als Methode eingeführt und ihre Anwendungsgebiete in der Fetalpathologie werden erläutert.

1.1 Das Perinatalzentrum an der Charité

Das Anliegen der modernen pränatalen Diagnostik besteht einerseits darin, eine Schwangerschaft zu erkennen und deren Alter zu bestimmen und andererseits sehr früh Wachstums- und Entwicklungsstörungen sowie Erkrankungen des Feten zu erfassen (Bollmann et. al. 1997) und ggf. therapeutische Konsequenzen zu ziehen. Bisher ist es nur an großen Kliniken mit Zentralisierung möglich, die dafür notwendigen speziellen Erfahrungen zu gewinnen. Solche Zentren für Perinatalmedizin (z.B. in London, Paris, New York, München und Berlin), die über umfangreiche pränatal-diagnostische und -therapeutische Möglichkeiten verfügen, entstanden weltweit in den frühen 80er Jahren. An der Charité wurde im Oktober 1985 die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Pränatale Diagnostik und Therapie“ (Abb. 1) gegründet, in der Geburtshelfer, Neonatologen, Genetiker, Kinderchirurgen, Kinderkardiologen, Radiologen, Pathologen und Vertreter weiterer Fachdisziplinen zusammenarbeiten (Bollmann et al. 1997).

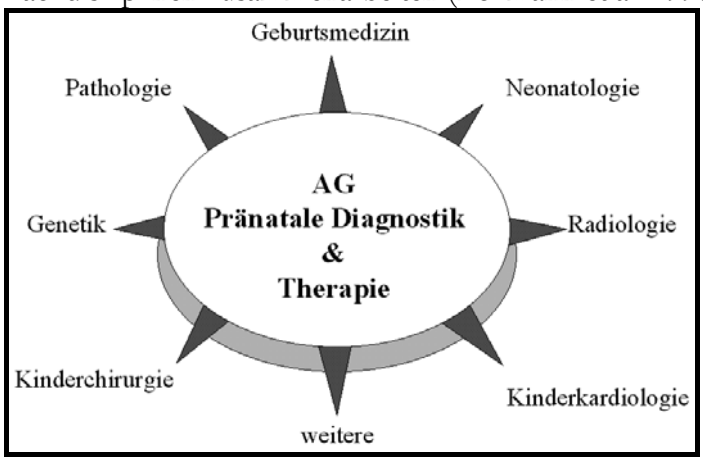


Abb. 1: Interdisziplinäre Struktur eines Perinatalzentrums

Die Vertreter der verschiedenen Fachdisziplinen treffen sich regelmäßig und diskutieren die interdisziplinären Befunde der aktuellen Fälle. Dabei steht die Diagnostik von Fehlbildungen im Vordergrund. Konkrete klinische Forderungen in den Fällen einer vorzeitigen Beendigung der Schwangerschaft mit Obduktion des Feten sind z.B. die autoptische Sicherung aller pränatalen Befunde und Stellungnahme zu differenten und zusätzlichen Befunden, der Einsatz spezieller Untersuchungsmethoden (PCR, Elektronenmikroskopie u.a.), sowie die qualitativ hochwertige bildliche Dokumentation von Autopsieberichten.

Bei Vorliegen schwerer pathologischer Befunde des Fetus wird mit Einverständnis der Patientin, die Schwangerschaft in den meisten Fällen vorzeitig beendet. Anschließend wird im Institut für Medizinische Genetik ein klinisch-genetischer Befund des Fetus erhoben und fetales Material für eine zytogenetische bzw. molekularzytogenetische Untersuchung entnommen. Danach erfolgt die Anfertigung eines postmortalen Fetogramms in der Radiologie.

Abschließend gelangt der Fetus zur Autopsie in das Institut für Pathologie. Durch Nutzung einer interdisziplinären Befund- und Bilddatenbank (Professional Image Archiving - PIA der Firma Viewpoint Bildverarbeitung GmbH), die 1995 zwischen der Frauenklinik und dem Institut für Pathologie aufgebaut wurde, kann sich der Obduzent über die erhobenen Pränatalbefunde und Ultraschallbilder am PC informieren und die Autopsie entsprechend

der aktuellen Befunde planen. Der abschließende Autopsiebericht wird an die Kliniker verschickt und stellt eine Grundlage für Aussagen zum Wiederholungsrisiko von Erkrankungen dar.

Der überwiegende Teil der im Zentrum für Perinatalmedizin betreuten Schwangerschaften wird erfolgreich termingerecht ausgetragen oder vorzeitig entbunden. Pränatal diagnostizierte pathologische fetale Befunde und Erkrankungen der Schwangeren werden interdisziplinär hinsichtlich einer entsprechenden Überwachung und Therapie besprochen. Dies ist eine Voraussetzung für die gezielte postnatale Versorgung des Risikoneugeborenen durch den Neonatologen, Kinderchirurgen bzw. weitere behandelnde Ärzte.

1.2 Die Fetalpathologie

Die Fetalpathologie ist ein Aufgabengebiet der Pathologie. Eine der wichtigsten Aufgaben der Autopsie von Feten ist die Qualitätskontrolle der pränatalen Diagnostik.

1.2.1 Fetalpathologie als Aufgabengebiet der Pathologie

Im Rahmen der Gliederung der Pathologie (Abb. 2) gehört die Autopsie von Feten in den Bereich der Prosektur. Innerhalb der letzten Jahre vollzog sich ein Schwerpunktwandel von der Kinderpathologie hin zur Fetal- und Embryonalpathologie. Am Institut für Pathologie der Charité (Campus Charité Mitte) lag der Anteil von Fetal- und Kinderautopsien einschließlich der Untersuchung der zugehörigen Plazenten an der Gesamtzahl der Sektionen in den vergangenen Jahren bei ca. 50%, ist damit also vergleichbar mit der Anzahl der Erwachsenensektionen (Tennstedt 2001a, persönliche Mitteilung). Dabei handelt es sich überwiegend um Sektionen von Feten, besonders nach vorzeitiger Beendigung der Schwangerschaften. Entsprechend der seltener durchgeführten intravitalen fetalen Diagnostik ist der Anteil an Untersuchungsmaterial eher gering (z.B. zytologische Untersuchungen von Ergüssen und Fruchtwasser oder histologische Untersuchungen von Feinnadelbiopsaten durch den Pathologen).

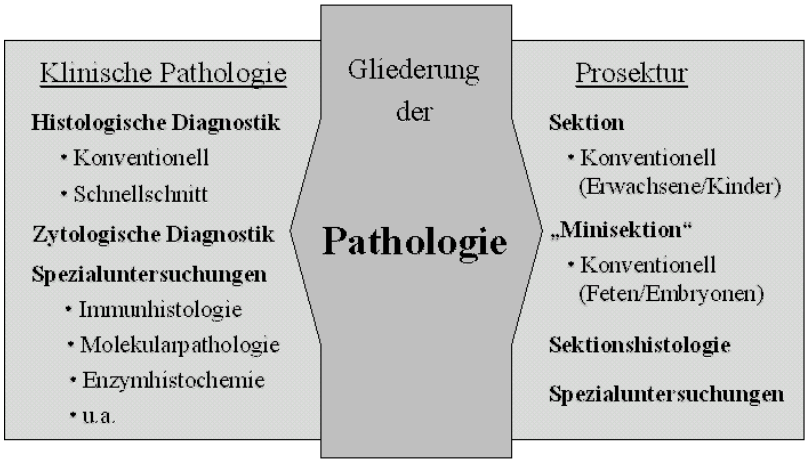


Abb. 2: Gliederung der Pathologie (Hufnagl 1999)

1.2.2 Die Fetalpathologie als Bestandteil eines Perinatalzentrums

Die wichtigste Aufgabe der Fetalpathologie innerhalb eines Perinatalzentrums besteht in der Qualitätskontrolle der pränatalen Diagnostik, da wichtige schwangerschaftsrelevante Entscheidungen auf Grund der pränatal erhobenen Befunde, insbesondere durch bildgebende Verfahren gestellt werden.

Bei der Autopsie von Feten werden die pränatal diagnostizierten Befunde entweder bestätigt, ergänzt oder korrigiert. Die klinischen Befunde und die interdisziplinär erhobenen Falldaten spielen hierbei für ein gezieltes Vorgehen und die Qualität der Autopsie eine wichtige Rolle.

Bei Vorliegen von schweren pathologischen Befunden des Fetus wird mit dem Einverständnis der Patientin die Schwangerschaft vorzeitig beendet. Mit zytogenetischem

Befund und postmortalem Radiogramm gelangt der Fetus zur Autopsie in die Pathologie.

Der abschließende Autopsiebericht in pathogenetischer Ordnung mit Diagnose und epikritischer Bewertung der Befunde wird den Beteiligten des Perinatalzentrums zur Verfügung gestellt und bildet mit die Grundlage für Aussagen zum Wiederholungsrisiko einer Erkrankung.

Die Integration der Fetalpathologie in die Arbeitsabläufe eines Perinatalzentrums ist in Abbildung 3 dargestellt.

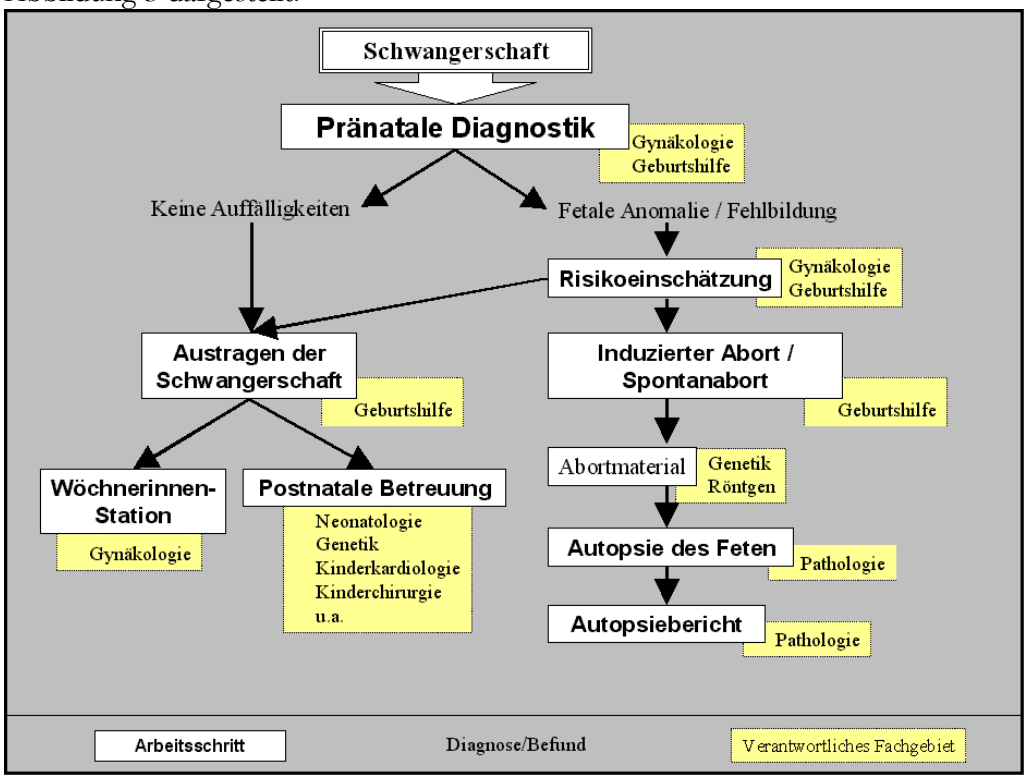


Abb. 3: Betreuung der Schwangeren innerhalb eines Perinatalzentrums und Aufgabe der Pathologie

1.2.3 Aktuelle klinische Forderungen an die Fetalpathologie

Die modernen bildgebenden Verfahren wie Computertomographie, Kernspin-resonanztomographie, Szintigraphie und Ultraschall haben in den letzten Jahren die diagnostischen Möglichkeiten in der Medizin erweitert. In besonderem Masse trifft dies auch auf die Entwicklung der Ultraschalltechnik und ihre Bedeutung im Rahmen der pränatalen Diagnostik von Fehlbildungen zu. So können heute selbst detaillierte morphologische Befunde z.B. Herzfehlbildungen mit der Farbdopplersonographie sehr früh erkannt werden. Diese Entwicklungen haben zu gesteigerten klinischen Forderungen an die Autopsie von Feten geführt.

Die enormen technischen Fortschritte in der pränatalen Diagnostik ermöglichen dem Pränatalmediziner eine immer frühere und genauere Diagnostik fetaler Anomalien und Fehlbildungen. So können bereits zu Beginn des 2. Trimenons Entwicklungsstörungen routinemäßig entdeckt werden. Ein Teil der Schwangerschaften wird aus diesem Grund vorzeitig beendet. Dies führt dazu, dass der Pathologe zunehmend mehr Feten aus früheren Schwangerschaftswochen seziert und sehr detaillierte pränatale Befunde abklären muss.
Andererseits gestatten neue genetische Techniken Einblicke in die komplexen Zusammenhänge zwischen genetischen Abberationen, exogenen Faktoren und multiplen Fehlbildungen. Dies führt zu einem Anstieg von genetisch bestimmbaren komplexen Fehlbildungsmustern und Syndromen, mit denen sich der Pathologe beschäftigen muß, um eine korrekte Einordnung der jeweiligen Befunde treffen zu können.

1.2.4 Besonderheiten bei der Sektion von Feten

Im Vergleich zur Erwachsenensektion kommen bei der Autopsie von Feten kleinere Sektionsinstrumente zum Einsatz und mit Hilfe eines Stereomikroskops (siehe Abb. 21) können kleine Organstrukturen detailliert beurteilt werden. Die Einbeziehung anamnestischer Daten, mit dem Ziel der Risikoeinschätzung einer erneuten Schwangerschaft, sowie die Beachtung der Besonderheiten der Fetalperiode des vorliegenden Feten, führen zu einer Erweiterung des üblichen Rahmens einer Routineobduktion.

Im Gegensatz zur Erwachsenensektion müssen bei einer Fetalsektion neben den interdisziplinären Befunden, die Anamnese der Patientin, der Plazentabefund, der Wachstums- und Reifestand des Fetus sowie die fetalen Kreislaufverhältnisse beurteilt werden. Nur ein adäquates Autopsieprotokoll in pathogenetischer Ordnung mit Diagnose und epikritischer Bewertung der interdisziplinären Befunde, wie der klinischen Genetik, Zytogenetik und des postmortalen Radiogramms stellt eine ausreichende Grundlage für Aussagen zum Wiederholungsrisiko der Erkrankung dar (Tennstedt et al. 2000c).

1.2.5 Probleme der Qualitätssicherung

Das schnelle Wachstum der Anzahl komplexer Erkrankungen und Syndrome und die Zunahme der Anzahl kleinerer Feten aus sehr frühen Schwangerschaftswochen, die zur Autopsie gelangen, führen zu erhöhten qualitativen Anforderungen an die Autopsie von Feten.

Hinzu kommt der Umstand, dass es weltweit nur sehr wenige Experten für Fetalpathologie gibt. In Deutschland kann die Anzahl auf etwa 20 Experten geschätzt werden. Diese stehen an den Instituten für Pathologie der Universitätskliniken als Kooperationspartner für die einzelnen Perinatalzentren zur Verfügung.

Bei fetalen Sektionen mit seltenen, komplizierten Befunden kann Unerfahrenheit des Obduzenten dazu führen, dass bestimmte Befunde zerstört werden und nach der Autopsie nicht mehr zu rekonstruieren sind. Der Pathologe trägt jedoch mit seiner Diagnostik eine hohe Verantwortung, die sich in Prüfung (Bestätigung vs. Nicht-Bestätigung) oder/ und Ergänzung der Pränatalbefunde zeigt. Eine fetalpathologische Obduktion sollte aus diesem Grund nur von einem Pathologen durchgeführt werden, der über genügend Erfahrungen in diesem Bereich verfügt oder unter Anleitung eines entsprechenden Kollegen die Sektion vorgenommen werden.

Nur eine sachgerecht durchgeführte Autopsie unter Kenntnis der Pränatalbefunde und unter Beachtung der Besonderheiten der Entwicklungspathologie, sowie die Erstellung eines adäquaten Autopsieprotokolls kann eine Qualitätskontrolle der pränatalen Diagnostik gewährleisten.

1.3 Telepathologie in der Fetalpathologie

1.3.1. Telemedizin und Telepathologie

Die TELEMEDIZIN ist ein Teilgebiet der Medizin, welches als Überschneidung von Gesundheitswesen, Informationstechnik und Telekommunikation definiert werden kann (siehe Abb. 4).

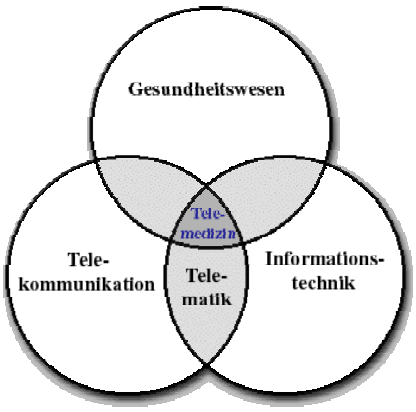


Abb. 4: Einbettung der Telemedizin (Roland Berger Studie, 1997)

Die Telemedizin ist gekennzeichnet durch die Nutzung von Informations- und Telekommunikationstechnologien (Telematik) zur Unterstützung und Verbesserung medizinischer Leistungen. Im Besonderen können diese neuen Technologien in administrativen Prozessen, in der Diagnostik und Therapie sowie der Wissensvermittlung Einsatz finden. Dadurch kann die medizinische Versorgung in ihrer Reichweite und Qualität entscheidend verbessert werden. (Telemedizinführer Deutschland 2000)

Unter TELEPATHOLOGIE versteht man das Erbringen diagnostischer Leistungen durch einen Pathologen über eine Distanz unter Nutzung der Telekommunikation (Nordrum 1996, Weinstein et al. 1997a). Konkret bedeutet dies, dass eine diagnostische Begutachtung für einen Fall erfolgt, der sich physikalisch an einem anderen geographischen Ort befindet (makroskopische Präparate, histologische Schnitte etc.).

1.3.2. Anwendungsgebiete der Telepathologie

Telemedizinische Methoden können prinzipiell in jedem Gebiet der Pathologie zur Anwendung kommen.

Das wichtigste Einsatzfeld der Telepathologie liegt in der Diagnostik, speziell im Einholen einer zweiten Meinung. Die Diagnostik wird in Primär-, Sekundär, und Tertiärdiagnostik unterteilt. Sie kann online und offline erfolgen.

- Primärdiagnostik: z. B. Schnellschnitt, Überwachung einer Autopsie
- Sekundärdiagnostik: z. B. Schnellschnitt, Zweite Meinung
- Tertiärdiagnostik: Konsensbildung im Expertenforum

Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen in der Aus- und Weiterbildung von medizinischem Personal (Assistenzärzte, Studenten, MTAs etc.), Telekonferenzen, sowie der Erstellung und Pflege von digitalen Falldatenbanken (Nordrum et al. 1996).

Weltweit werden diese Möglichkeiten in unterschiedlichem Umfang genutzt. So werden in Flächenstaaten wie Kanada, Australien, Schweden und Norwegen durch die besonderen Kommunikationsanforderungen in diesen Ländern telepathologische Systeme bereits sehr breit in der Routine eingesetzt. Dabei wird die Telepathologie überwiegend zur Primärdiagnostik verwendet. (Nordrum 1996, Dietzel 2000)

Der aktuelle Stand der Einführung der Telepathologie ist in den europäischen Ländern sehr unterschiedlich. So etablierten sich - neben Schweden und Norwegen - in der Schweiz (Oberholzer et al. 1993), Italien (Della Mea et al. 2000) und auch in Deutschland (Stauch et al. 1995, Hufnagl et al. 2001) Telepathologie Netzwerke, die ihre Technik der primären Schnellschnittdiagnostik zur Verfügung stellen. In Frankreich wurde ein telepathologisches Netzwerk für Expertenkonsultationen etabliert (Martin et al. 1995). In Spanien (Nordrum 1996) und Kroatien (Seiwerth 2000) werden Telepathologie-Systeme eingesetzt, welche

durch Versendung von statischen Bildern, dem Einholen einer Zweiten Meinung dienen.

Für die sekundäre Diagnostik wurden spezielle Konsultationszentren eingerichtet, die über das Internet, nach entsprechender Anmeldung und Authentifizierung, das Versenden von Falldaten ermöglichen und innerhalb von wenigen Tagen einen Diagnosevorschlag anbieten. Als Beispiele seien das kostenpflichtige Diagnosezentrum des AFIP (Williams 1998) und das kostenfreie Telepathologie-Konsultationszentrum (TPCC) der UICC genannt (Dietel et al. 2001, Gardziella et al. 2001).

Am Institut für Pathologie der Charité wird die Telepathologie seit 1997 routinemäßig eingesetzt. Das Schnellschnittlabor im Operationstrakt der Chirurgie wird mit verschiedenen Arbeitsplätzen im Institut für Pathologie verbunden (Hufnagl 2000b). Des weiteren sind entfernte Standorte des Institutes (Campus Virchow Klinikum und Campus Berlin Buch), sowie das Havelland Klinikum Nauen mit dem Institut für Pathologie Campus Charité Mitte verbunden.

1.3.3. Anwendungsszenarien der Telepathologie in der Fetalpathologie

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand gibt es noch keinen dokumentierten Einsatz der Telepathologie in der Fetalpathologie. Jedoch könnte die Anwendung der Telepathologie die Effektivität und die diagnostische Sicherheit in der Fetalpathologie erheblich verbessern.

Folgende Szenarien sollen die Einsatzmöglichkeiten verdeutlichen.

Szenario I - Autopsieüberwachung

Während der Autopsie eines Feten zeigt sich bei der Präparation eines Organsitus eine Fehlbildung, die durch den Obduzenten primär nicht diagnostiziert werden kann. Der Obduzent kann sich durch Konsultation eines erfahrenen Pathologen die Fehlbildung einordnen lassen und mit ihm die weiteren Schritte des Obduktionsablaufes besprechen. Am Ende der Konsultation können die Diagnosen für den Autopsiebericht festgelegt werden. (Abb. 5).

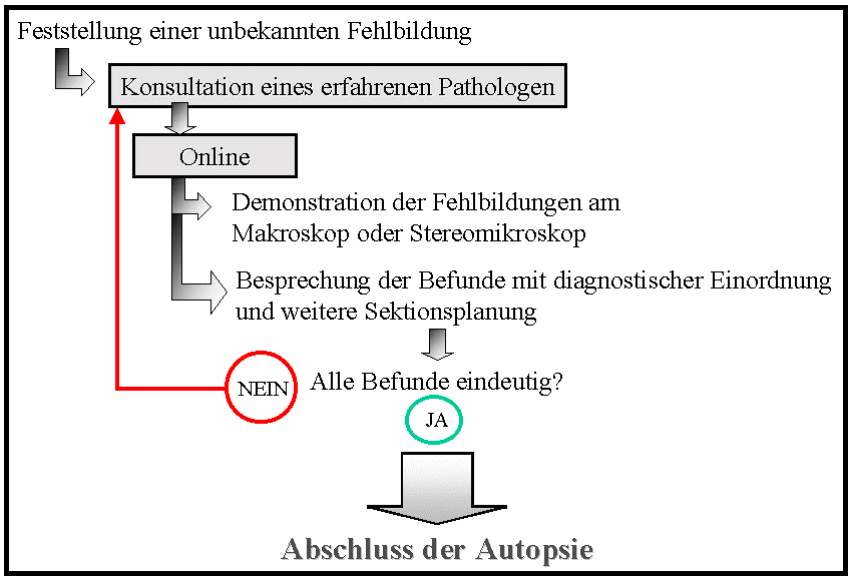


Abb. 5: Szenario I: Ein Pathologe in der Ausbildung konsultiert einen erfahrenen Pathologen

Szenario II - Zweite Meinung

Im Verlaufe der Autopsie eines Feten werden seltene Fehlbildungen diagnostiziert. Der sezierende Pathologe kann diese jedoch keinem konkreten Fehlbildungs- oder Syndromenkomplex zuordnen. Die Konsultation eines Experten kann sowohl online, d.h. direkt mit Videokonferenz und Live-Demonstration der Fehlbildungen, als auch offline erfolgen (zeitversetzte Kommunikation per E-Mail). Mit Hilfe des Experten kann durch Diskussion die endgültige Befundeinordnung erfolgen. (Abb. 6).

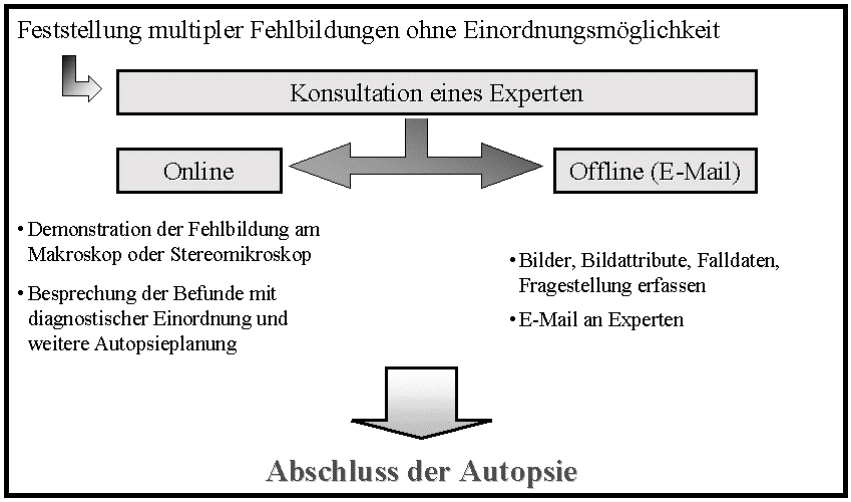

Feststellung multipler Fehlbildungen ohne Einordnungsmöglichkeit
Konsultation eines Experten
Online
Offline (E-Mail)
• Demonstration der Fehlbildung am Makroskop oder Stereomikroskop
• Besprechung der Befunde mit diagnostischer Einordnung und weitere Autopsieplanung
• Bilder, Bildattribute, Falldaten, Fragestellung erfassen
• E-Mail an Experten
Abschluss der Autopsie

Abb. 6: Szenario II: Zweite Meinung

Szenario III - Konsensfindung:

Die Klassifikation von multiplen bzw. seltenen Fehlbildungen ist durch die enorme Anzahl an Syndromen und Fehlbildungskomplexen für den Pathologen oft nicht einfach. Innerhalb einer Expertengruppe (ggf. unter Konsultation von Klinikern und Genetikern) werden selten auftretende Anomalien oder möglicherweise assoziierte Fehlbildungen einschließlich der interdisziplinären Befunde diskutiert. Unter Verwendung telepathologischer Techniken können die jeweiligen Befunde per E-Mail (offline) versandt werden. Die Fehlbildungen können aber auch im Rahmen einer Expertenkonferenz (Video-Konferenz) demonstriert und live diskutiert werden (online). So kann in der Regel abschließend eine Klassifikation des vorliegenden Fehlbildungsmusters oder der einzelnen Fehlbildungen erfolgen (Abb. 7).

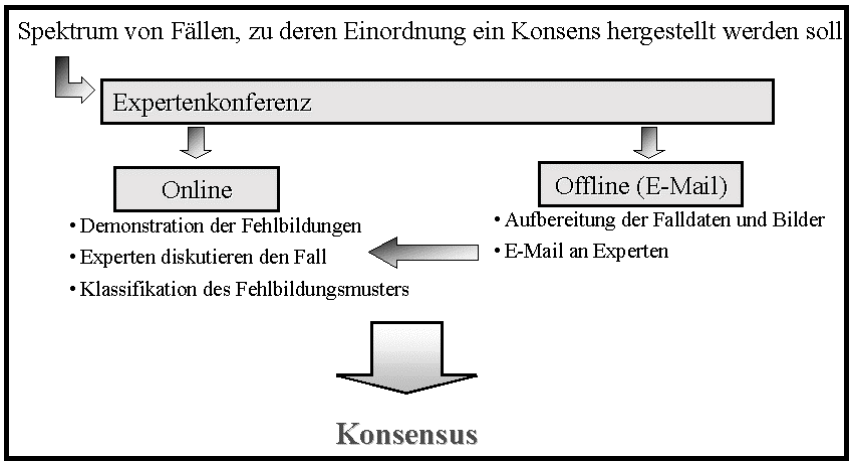


Abb. 7: Szenario III: Konsensfindung

Die Szenarien zeigen, dass mit Hilfe der Telepathologie die Kommunikation zwischen Pathologen zur Lösung von Problemen bei der Autopsie von Feten erleichtert werden kann. So kann der wenig erfahrene Obduzent auf einfachem Weg einen erfahrenen Kollegen konsultieren, der erfahrene Fetalpathologe kann sich bei Unklarheiten die Zweite Meinung eines Experten einholen und für die Konsensfindung kann eine Expertenkonferenz „elektronisch" einberufen werden.

1.3.4. Prinzipien der Telepathologie

Grundsätzlich werden zwei Kommunikationsarten unterschieden: die synchrone und die asynchrone Kommunikation. Beide Arten unterscheiden sich hinsichtlich der Interaktionsmöglichkeiten und des zeitlichen Ablaufs. Sie haben deshalb unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten.

Synchrone Kommunikation – Online Prinzip

Über eine elektronische Verbindung sind der anfragende Pathologe (Server) und der konsultierte Pathologe (Client) direkt miteinander verbunden (Abb. 8). Beide Teilnehmer verfügen über kompatible Systeme bestehend aus z.B. PC, Bildschirm, Personenkamera, Mikrofon, Lautsprecher etc. Die Kommunikation kann wie beim Telefonieren synchron/simultan erfolgen. Die telepathologischen Techniken erlauben eine Live-Falldemonstration, Live-Sektion und Diskussion. Mit Hilfe zusätzlicher Geräte kann der konsultierte Pathologe das Mikroskop bzw. das Makroskop des Anfragenden fernsteuern.

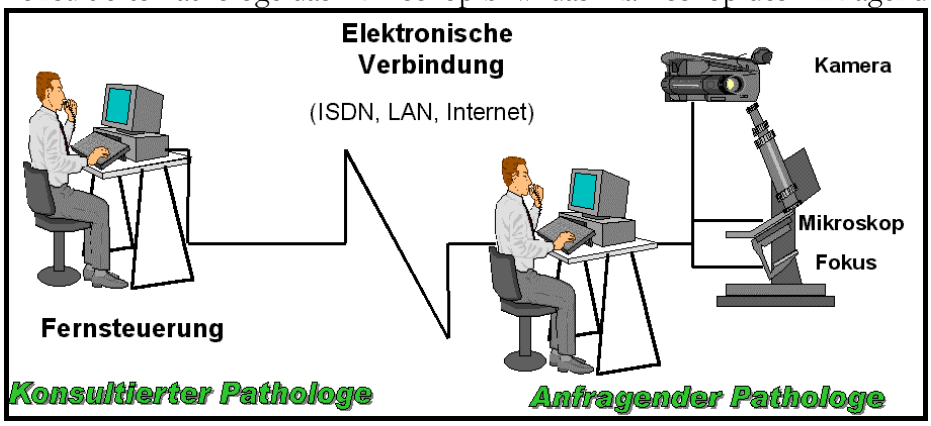


Abb. 8: Schema der **Synchronen** Kommunikation

Es ist vorstellbar, dass Organe mittels fernsteuerbarer Greifarme oder Sonden manipuliert werden können. In der Telechirurgie wird bereits mit derartigen Systemen experimentiert. Sie stehen prinzipiell auch für Sektionen unter Nutzung der Telepathologie zur Verfügung.

Die synchrone Kommunikation findet zur Zeit überwiegend bei der Primärdiagnostik von Gefrierschnitten im Rahmen einer Schnellschnittuntersuchung Anwendung.

Asynchrone Kommunikation – Offline Prinzip

Bei der asynchronen Kommunikation werden alle relevanten Teile der Anfrage (Patientendaten, klinische Befunde, Bilder, Arbeitsdiagnose etc.) als Fall-Pakete via E-Mail versendet. Die Fall-Pakete werden dabei auf einem Mail-Server zwischengespeichert. (Abb. 9) Die Kommunikation erfolgt nicht zeitgleich wie beim synchronen Modus, sondern zeitversetzt. Live-Demonstration oder Diskussion können nicht genutzt werden, ebenso ist eine Fernsteuerung nicht möglich.

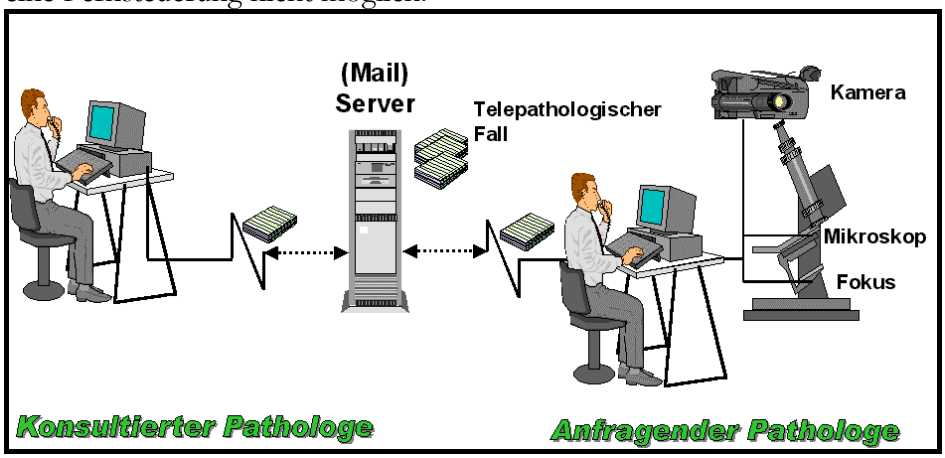


Abb. 9: Schema der **Asynchronen** Kommunikation

Ein Fall kann per E-Mail grundsätzlich an mehrere Pathologen versendet werden. Diese können parallel konsultiert werden und sie können den Zeitpunkt der Fallbearbeitung selbst bestimmen, so dass anfragender und konsultierter Pathologe nicht gleichzeitig agieren müssen.

Zur Zeit wird der asynchrone Modus hauptsächlich im Einholen einer Zweiten Meinung in der Pathologie eingesetzt, z.B. über Internet-basierte Diagnosezentren wie das des Armed Force Institute of Pathology (AFIP) oder das Telepathologie Konsultationszentrum TPCC der UICC (Williams 1998, Dietel et al. 2001, Gardziella et al. 2001).

1.3.5. Voraussetzungen für die Nutzung von Telepathologie-Systemen

Für den Einsatz telepathologischer Systeme müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, dazu zählen finanzielle, technische und räumliche.

Der finanzielle Rahmen umfasst neben den Anschaffungskosten der technischen Geräte, die Wartung und Pflege, sowie den Kauf von Updates und Serviceleistungen. Weitere Kosten entstehen durch die Nutzung von Netzwerken (Telefonnetz / Internet).

Der Umfang der technischen Geräte variiert je nach Einsatzszenario des telepathologischen Systems. Möchte beispielsweise ein Pathologe einen Kollegen online konsultieren, sind bestimmte Geräte notwendig (z.B. Mikroskop, Makroskop etc.), die bei dem konsultierten Pathologen nicht benötigt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Technische Bestandteile von Telepathologie-Systemen

Technische Geräte (Hardware)	**Anfragender Pathologe**	**Konsultierter Pathologe**
- **Computer**:		
o Grafikkarte	notwendig	notwendig
o Monitor	notwendig	notwendig
o Soundkarte	sinnvoll	sinnvoll
- **Kommunikation**		
o Netzwerkkarte	notwendig	notwendig
o Netzverbindung	notwendig	notwendig
o Mikrofon / Lautsprecher (z.B. Headset)	notwendig	notwendig
o Personenkamera	notwendig	notwendig
o Videokonferenzkarte	sinnvoll	sinnvoll
- **Bildaufnahme**		
o Framegrabberkarte	notwendig	*nicht notwendig*
o Videokamera für Makroskop/Mikroskop	notwendig	*nicht notwendig*
o Makroskop / Stereomikroskop	notwendig für Schnellschnitt und Sektion	*nicht notwendig*
o Mikroskop (fernsteuerbar)	*nicht notwendig für Sektion*	*nicht notwendig*
o Joystick	sinnvoll	sinnvoll

Die Integration in den vorhandenen Arbeitsablauf ist dem Einrichten eines Extraarbeitsplatzes aus ökonomischen und ergonomischen Gründen vorzuziehen.

1.3.6. Aufbau und Funktion von Telepathologiesystemen

In der Regel besteht ein telepathologisches Einzelsystem aus einem PC mit mehreren Hardware-Bauteilen (Tab. 1). Je nach Einsatzgebiet des Systems werden bestimmte bildgebende Komponenten (Mikroskop, Makroskop etc.) angeschlossen. Soll ein Arbeitsplatz sowohl für Anfragen als auch für die Abgabe einer Zweiten Meinung genutzt

werden, so muss der Arbeitsplatz entsprechend ausgerüstet werden.

Die Steuerung der Geräte erfolgt am effektivsten mit einer speziellen Software, einem Telepathologie-System. Von verschiedenen Institutionen und kommerziellen Firmen wurden derartige Systeme entwickelt (z.B. TPS aus Berlin, HISTKOM aus Stuttgart, Olympus, Nikon, Zeiss, AVItechs etc.). Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Benutzeroberfläche, Funktionalität, Arbeitsablauf und Unterstützung von Hardwarekomponenten. Die Anbindung an Datenbanken ermöglicht den Zugriff auf fallspezifische Informationen (zentrale Datenbank eines Krankenhauses, Pathologie-Informations-System). Ebenso können die anfallenden telepathologischen Daten in einer Falldatenbank abgespeichert werden und dann als Referenzfälle zur Verfügung stehen.

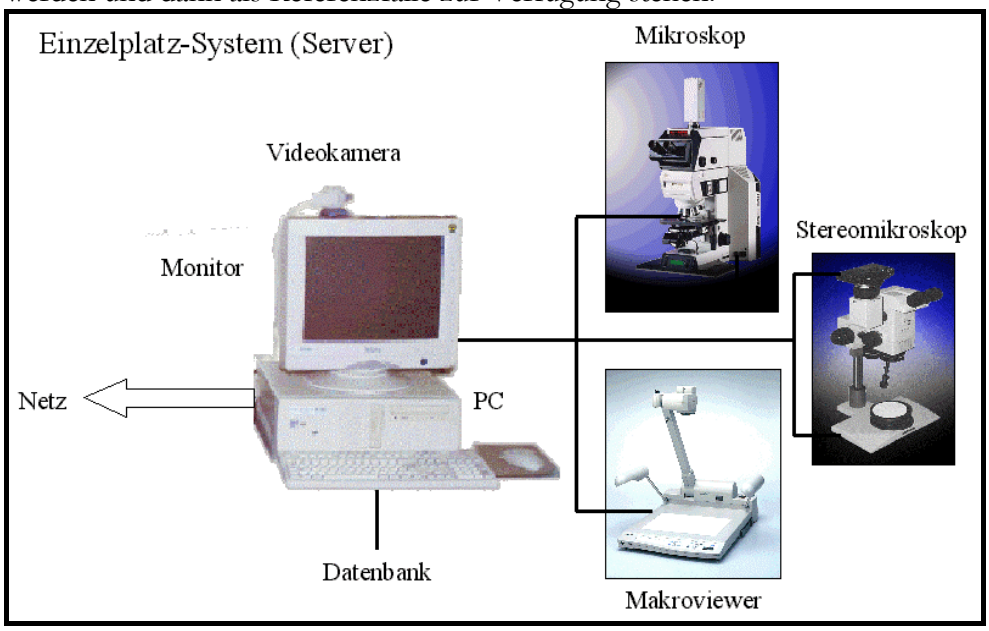


Abb. 10: Schema eines telepathologischen Einzelplatz-Systems (Server Seite)

Um die Einzelplatz-Systeme miteinander verknüpfen zu können, wird auf bereits bestehende Netzwerke (Inhouse-Network oder bundesweites Telefonnetz der Deutschen Telekom) zurückgegriffen. Je nach Art und aktueller Auslastung des verwendeten Netzwerkes können die Informationen zwischen den Systemen unterschiedlich schnell ausgetauscht werden.

Tab. 2: Vergleich unterschiedlicher Datentransfermöglichkeiten

Bezeichnung		**Bandbreite**	**Übertragungszeit*** einer 1 Mb großen Bilddatei
analog	Telefonleitung (Modem)	33,6 – 56 KBps	14-16 min
digital	ISDN	64 Kb pro Sekunde	2-18 min
	n-gebündelte ISDN-Kanäle	n x 64 Kb pro Sekunde	n x (2-18) min
	Ethernet = LAN	10 Mb pro Sekunde	0,01 min (=0,6 s)
	FDDI	100 Mb pro Sekunde	0,001 min (=0,06 s)
	ATM	144 Mb pro Sekunde	0,0001 min (=0,006 s)
... weitere Transfermöglichkeiten (Infrarot, Bluetooth etc.)			

** Die Schwankungen entstehen je nach Netzauslastung (Modemübertragungen schwanken zwischen 3-10 Kb; ISDN-Übertragungen liegen zwischen 8-30 Kb)*

Die Verschlüsselung des Datentransfers zum Schutz vor unberechtigtem Zugriff wird bei den einzelnen Übertragungsarten unterschiedlich vorgenommen. Grundsätzlich kann die Verschlüsselung bereits vor dem Versenden der Daten erfolgen (Hardware oder Software basiert). So sind z.B. Modems oder Netzwerkkarten mit integrierter Codiertechnik vorhanden. Weit verbreitet sind zur Zeit sogenannte Public-Key-Verschlüsselungen, die

insbesondere bei dem Versenden von elektronischer Post (E-Mail) oder bei FDDI-Netzen eingesetzt werden. Daneben existieren sehr viele verschiedene benutzerdefinierte Verschlüsselungsalgorithmen.

Meistens werden zwei Systeme nur Punkt zu Punkt verbunden, d.h. ein Einzelplatz-System wird mit einem weiteren verknüpft (Abb. 11). In der Computertechnik werden die Begriffe Client (Kunde) und Server (Kellner) verwendet. Die Client-Server-Architektur ist wesentlich für die Vernetzung von Computern und beschreibt ein abstraktes Prinzip der Kommunikation. In der Telepathologie wird das System des anfragenden Pathologen oft als Server und das System des konsultierten Pathologen als Client bezeichnet.

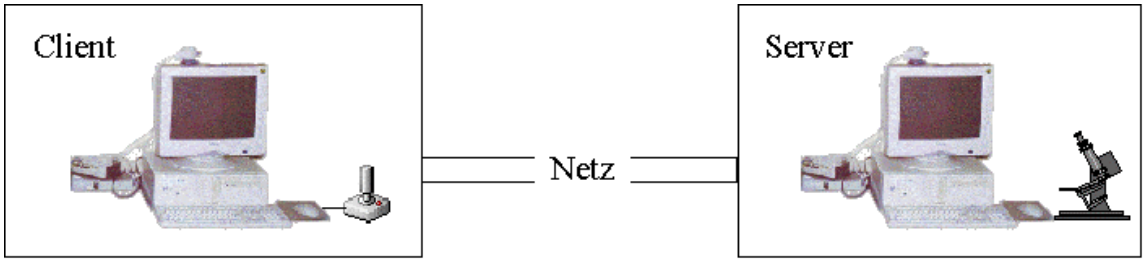


Abb. 11: Schema einer Punkt zu Punkt Verbindung

Mit der Einführung einer größeren Anzahl netzwerkfähiger Systeme wird in Zukunft ein Telepathologie-Netzwerk entstehen. Als Beispiel sei hier das bestehende Telepathologie-Netz der Charité in Berlin aufgeführt (Abb. 12).
Ein grundsätzliches Problem ist jedoch die Inkompatibilität kommerzieller Systeme, die bestehende Standards wie DICOM, VML, HL7 oder XML nicht unterstützen (Muller et al. 2001).

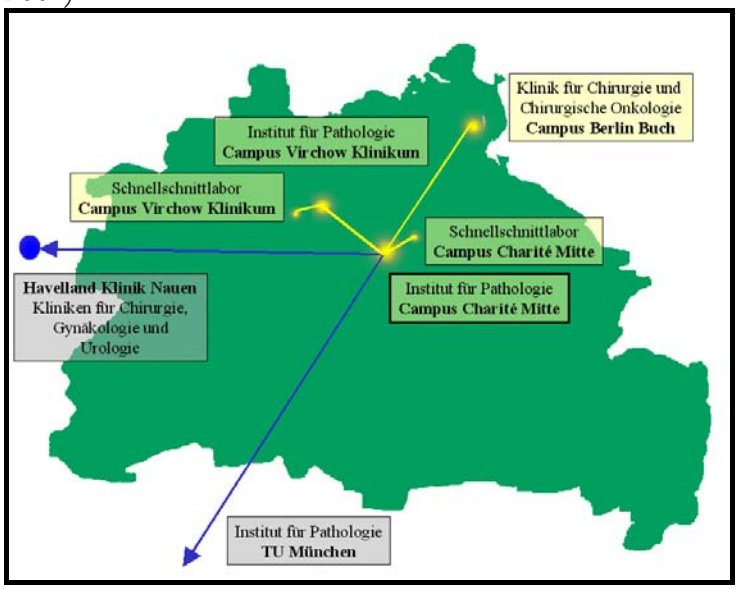

Klinik für Chirurgie und Chirurgische Onkologie Campus Berlin Buch
Institut für Pathologie Campus Virchow Klinikum
Schnellschnittlabor Campus Virchow Klinikum
Schnellschnittlabor Campus Charité Mitte
Havelland Klinik Nauen Kliniken für Chirurgie, Gynäkologie und Urologie
Institut für Pathologie Campus Charité Mitte
Institut für Pathologie TU München

Abb. 12: Telepathologie-Netzwerk der Charité Berlin

1.3.7. Makroskopie und Mikroskopie in der Telepathologie

Die Basis für die Diagnostik in der Pathologie bilden die makroskopische und mikroskopische Beurteilung des Materials.

In der Fetalpathologie dient die Makroskopie primär der Beurteilung des Situs und der Organe bei der Sektion, die mikroskopische Begutachtung erfolgt erst nach entsprechender histologischer Aufarbeitung der Organe. Demzufolge wird die Mikroskopie bei einer Online Live-Sektion keine Rolle spielen, jedoch zu einem späteren Zeitpunkt in der Diagnostik ein wichtiger Bestandteil sein.

Im Zentrum telepathologischer Anwendungen steht heute meist die Histologie. Die Makroskopie ist derzeit nur im Rahmen des Zuschnitts bei der Schnellschnittdiagnostik von Bedeutung (Oberholzer et al. 1993, Kayser et al. 2000b, Wells et al. 2000). Sie spielt jedoch in der Fetalpathologie die entscheidende Rolle (Wehrstedt et al. 2000a).

Makroskopie

In der Makroskopie werden Bilder mit Hilfe eines Makroskops oder eines Stereomikroskops von makroskopischen Präparaten angefertigt. Die Bilder werden mit einer digitalen Kamera aufgenommen und an den PC übertragen und dort gespeichert. Je nach Kommunikationsmodus (Online oder Offline) können diese Bilder direkt über das Netz an den konsultierten Pathologen weitergeleitet oder zu einem Fall-Paket zusammengefasst auf einem Mail-Server abgelegt werden. (Abb. 13 und 14)

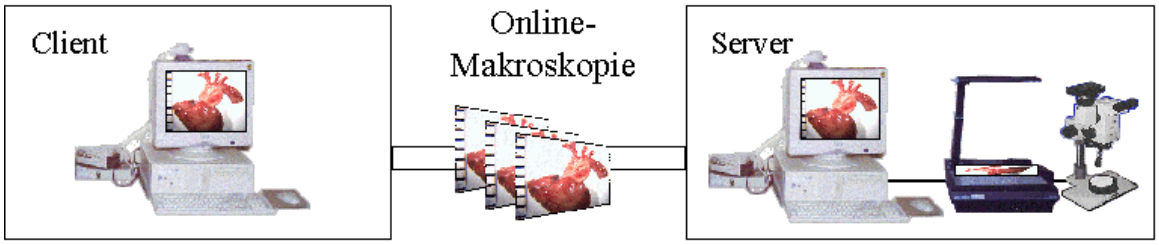


Abb. 13: Online-Makroskopie

Im Online Modus können Live-Videobilder (dynamische Bilder) des makroskopischen Präparates übertragen werden. Durch das Drehen des Präparates wird der Stereoeindruck besonders gut vermittelt. Dies kann bei statischen Bildern z.B. durch Schatten, Glanzlichter oder durch das Schärfe-Unschärfe-Verhältnis erreicht werden. Im Online Modus kann man durch Live-Diskussionen Besonderheiten des Präparates besprechen und dieses mit Sonden oder Pinzetten manipulieren.

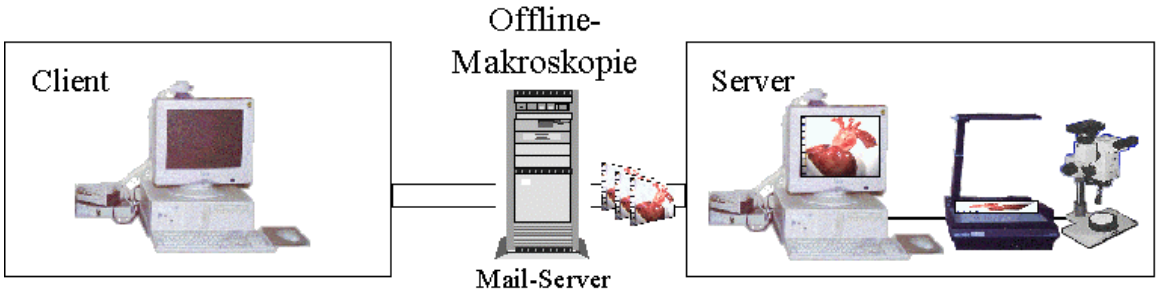


Abb. 14: Offline-Makroskopie

Der grundsätzliche Ablauf in der Makroskopie ist ähnlich wie in der Mikroskopie. Die fallspezifischen Bilder werden aufgenommen und zusammen mit den Falldaten per E-Mail an den konsultierten Pathologen versandt. (siehe auch Kapitel 1.3.5. Prinzipien der Telepathologie)

Mikroskopie

In der Mikroskopie werden histologische Schnittpräparate beurteilt. Im Rahmen der Telepathologie kann dies ebenfalls online oder offline erfolgen (Abb. 15 und 17).

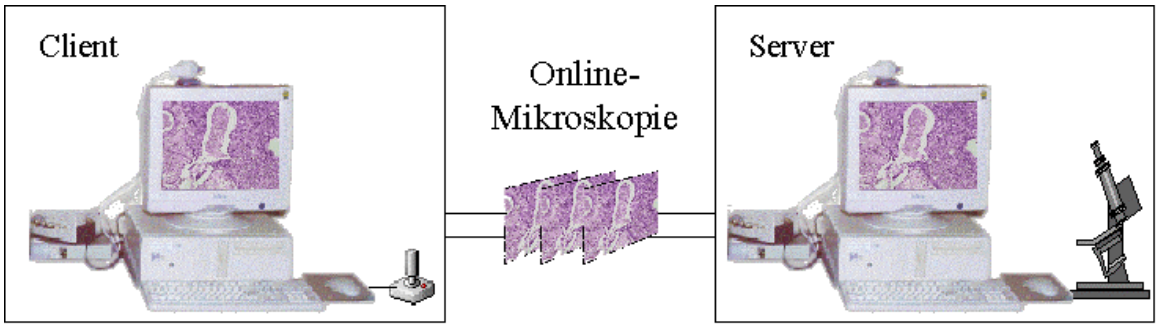


Abb. 15: Online-Mikroskopie

Bei der Online-Mikroskopie kann der konsultierte Pathologe das Mikroskop des anfragenden Pathologen fernsteuern. Dies kann im Offline-Modus nicht erfolgen, da das Fall-Paket bereits fertig auf einem Mail-Server gespeichert wurde und für den konsultierten Pathologen bereitliegt.
Die Funktionsweise der Fernsteuerung des Mikroskops soll in folgender Abbildung kurz verdeutlicht werden.

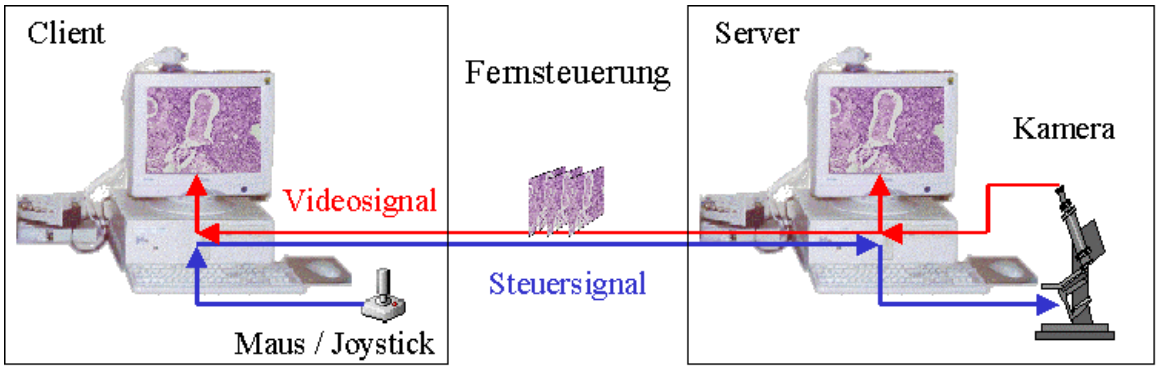


Abb. 16: Fernsteuerung

Die vom Joystick des konsultierten Pathologen ausgehenden Steuerinformationen werden an das fernsteuerbare Mikroskop gesendet, so dass das Präparat auf dem Objekttisch in entsprechender Weise bewegt wird. Die an das Mikroskop angeschlossene Videokamera nimmt die Bilder auf und sendet diese an den PC und gleichzeitig über die bestehende Netzverbindung an den konsultierten Pathologen. Der gewünschte Präparatausschnitt wird dann ebenfalls auf dem Monitor dargestellt.

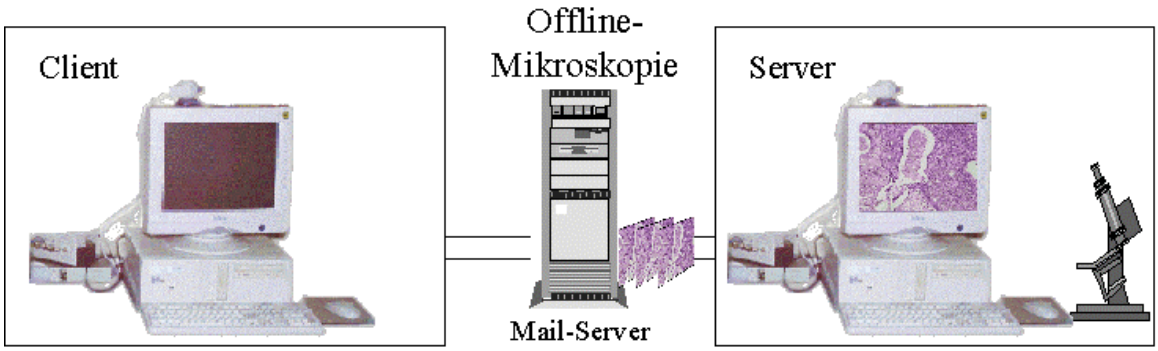


Abb. 17: Offline-Mikroskopie

Bei der Offline-Mikroskopie werden die fallspezifischen Bilder aufgenommen und mit den Falldaten per E-Mail an den konsultierten Pathologen versendet. Als Zwischenstation dient ein Mail-Server, der die E-Mail speichert und für den Abruf durch den konsultierten Pathologen bereit hält. Eine Fernsteuerung ist deshalb nicht möglich. Die Bildauswahl trifft allein der anfragende Pathologen.

1.3.8. Vorteile und Probleme der Telepathologie

Durch den Einsatz telepathologischer Systeme können eine Reihe von Aufgaben in der Pathologie und insbesondere in der Fetalpathologie gelöst werden.
Durch die Möglichkeit einen Kollegen zu konsultieren, ergeben sich mehrere **Vorteile**:

Eine Zweite Meinung kann schneller und damit häufiger eingeholt werden (Hufnagel et al. 2000), somit kann die Qualität und Sicherheit der Diagnostik gesteigert werden. Die Primärdiagnostik pathologischer Fälle wird an Krankenhäusern ohne Pathologen vor Ort ermöglicht. Und die Konsultation mehrerer Pathologen kann gleichzeitig erfolgen (Wehrstedt et al. 2000b). Des weiteren können „Telepathologie-Konsultationszentren" für Expertisezwecke genutzt werden, und die Weiterbildung und Konsensbildung werden erleichtert (Della Mea et al.1999a).
Insgesamt kann so die Patientenversorgung verbessert werden. (Weinstein et al. 1986, Dunn et al. 1997b, Kayser et al. 1999a, Hufnagl et al. 2000a)

Jedoch sind mit der Anwendung dieser Techniken auch ein paar **Problemen** verbunden.

Besonderheiten eines Falles, die nicht rechtzeitig erkannt werden, können zu Fehlinterpretationen führen (Dunn et al. 1997a/b, Winokur et al. 1998). So wird notwendig, die Präparate konventionell per Boten an den konsultierten Pathologen zu senden, da mögliche Schwierigkeiten nicht mit den Mitteln der Telepathologie geklärt werden können (Winokur et al. 1998, Oberbarnscheidt et al. 2000). Ein weiteres Problem liegt in der Auswahl der relevanten Bildausschnitte. Dies ist abhängig von der Erfahrung des Pathologen und kann so die Qualität der Diagnostik stark beinträchtigen (Weinstein et al. 1986, Oberholzer et al. 1993, Eusebi et al. 1997, Della Mea et al. 1998a, Oberbarnscheidt et al. 2000). Weiterhin besteht das Problem des Datenschutzes und der unklaren rechtlichen Grundlage für die Nutzung der Systeme in der Diagnostik (Dierks 2000). Ebenso ungeklärt sind die Abrechnungsmöglichkeiten telepathologischer Dienste (Schwarzmann et al. 2000, Dietel et al. 2000b).
Bestehende technische Probleme wie fehlende Standards, unzureichende Geschwindigkeit, mangelnde Stabilität der Systeme (Weinstein et al. 1997b), Bildqualität (Dunn et al. 1997a) oder komplizierte Benutzeroberflächen sind derzeit noch ein Problem. Diese werden mit der zunehmenden technischen Weiterentwicklung gelöst werden können.

2 Aufgabenstellung

Die exakte Diagnostik und Klassifikation von Fehlbildungen und pathologischen Befunden ist die Hauptaufgabe in der Fetalpathologie. Betroffene Familien werden gemeinsam von Genetikern und Pränatalmedizinern hinsichtlich einer erneuten Schwangerschaft beraten. Die sehr große Anzahl von Fehlbildungsmustern erschwert die genaue Einordnung der Befunde. Hinzu kommt die geringe Anzahl von Experten sowohl in Deutschland als auch weltweit, so dass die Frage nach einer Zweiten Meinung immer mit einem hohen Aufwand für die Versendung des Materials und einem längeren Diagnosezeitraum verbunden ist.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Einsatzmöglichkeiten der Telepathologie in der Praxis zu testen und dabei zu evaluieren, welchen Beitrag die Telepathologie zur Lösung der oben genannten Probleme beisteuern kann. Folgende Fragen stehen im Zentrum der Arbeit:

1. Sind telepathologische Techniken zur Bewältigung der steigenden Anforderungen an die Fetalpathologie anwendbar?
Hierfür wird das kommerzielle System TPS am Institut für Pathologie der Charité im praktischen Einsatz untersucht.

2. Wo liegen die Möglichkeiten und Grenzen der Telepathologie im Vergleich zur konventionellen Konsultation in der Fetalpathologie?
Im Rahmen einer Fallstudie wird das TPS in die fetalpathologischen Arbeitsabläufe integriert und es werden die Vor- und Nachteile gegenüber konventionellen Methoden bewertet.
Anhand mehrerer Sektionsfälle erfolgt eine Evaluation des Einsatzes der Telepathologie während der Sektion.

3. Welche Anforderungen sind an die Qualität der übertragenen Bilder zu stellen, um eine exakte Diagnostik zu gewährleisten? Wie hängt dies von den optischen Bedingungen (Vergrößerung, Beleuchtung etc.) und den untersuchten Strukturen (verschiedene Gewebe) und deren Zustand (unfixiert, fixiert) ab?
Hierfür wird eine Studie zur Bildqualität durchgeführt. Deren Schwerpunkt liegt auf der Analyse und Bewertung der Einflussfaktoren auf die Qualität von statischen makroskopischen Bildern.
Die Einflussmöglichkeiten des Pathologen auf die Bildqualität sollen systematisch untersucht und aufgezeigt werden.
Das Ziel besteht im Erreichen einer höchstmöglichen Datenreduktion bei minimalen Qualitätsverlusten, um die sichere Diagnosestellung zu gewährleisten.

4. Welche Anforderungen sind an telepathologische Lösungen zu stellen, um diese in der Routine einsetzen zu können?

3 Material und Methoden

Dieses Kapitel stellt neben den verwendeten Geräten und der eingesetzten Software, die Auswahl des Fallmaterials und der Bilder vor. Es folgen Erläuterungen zum Aufbau der Studien und zu den einzelnen Arbeitsschritten.

3.1. Arbeitsplatz und Arbeitsablauf in der Fetalpathologie

3.1.1 Technische Ausstattung des Fetalpathologie-Arbeitsplatzes

Bei der Sektion von Feten wird nicht mit den gleichen Instrumenten wie bei der Erwachsenensektion gearbeitet. Der Fetalpathologe verwendet kleinere Instrumente (kleine Skalpelle, Minisonden, Minischeren, etc.). Zur Durchführung einer Sektion eines Fetus reicht ein kleiner Sektionsplatz anstelle eines konventionellen Sektionsstisches. (Abb. 18)

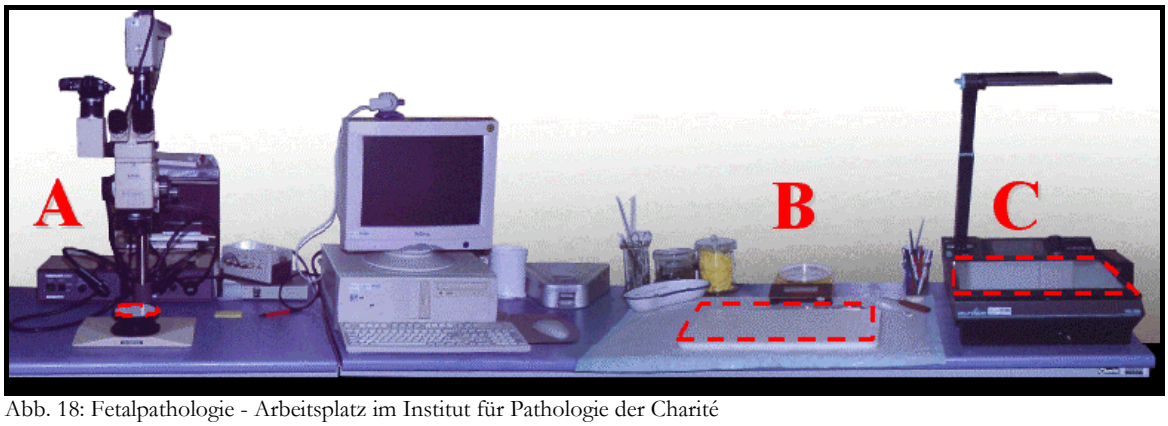


Abb. 18: Fetalpathologie - Arbeitsplatz im Institut für Pathologie der Charité
A) Platz zur stereomikroskopischen Dokumentation (Stereomikroskop)
B) Eigentlicher Sektionsplatz
C) Platz zur makroskopischen Dokumentation (Makroskop)

Zur Unterstützung der Fetalsektion stehen ein Stereomikroskop von Olympus (SZH 10), ein Makroskop (Wolfvision Visualizer VZ 15b von WolfVision GmbH, Goetzis/ Österreich) und eine elektronische Waage (ISO 9001 von Sartorius AG Göttingen) zur Verfügung.

Makroskop Wolfvision Visualizer VZ 15b

Mit Hilfe des Makroskops ist der Obduzent in der Lage, Übersichtsaufnahmen des Feten oder des Totgeborenen anzufertigen (Abb. 19.a). Der Aufnahmebereich beträgt dabei 360 x 270 mm. Detailaufnahmen sind ebenso möglich. Die Größe des Aufnahmebereiches ist dann 42 x 32 mm (Abb. 19.b).

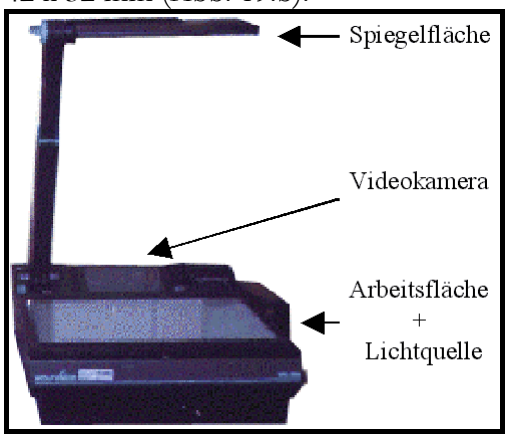


Abb. 19a Makroskop Wolfvision Visualizer VZ 15b

Abb. 19b Fetus, ventral, 22. SSW, Übersichtsauf-nahme mit Makroskop

Abb. 19c Rechte Hand des Fetus, Detailansicht

Bei der Übersichtsaufnahme beträgt der Tiefenschärfebereich 250 mm, und bei maximalem Zoom (= Detailansicht) 70 mm. Durch die parallele Anordnung von Kamera und

Beleuchtungssystem ermöglicht das Makroskop von Wolfvision eine nahezu schattenfreie Ausleuchtung selbst hohler Objekte. Gleichzeitig gewährleistet es eine reflektionsfreie Arbeitsfläche, d. h. Objekte mit glänzenden Oberflächen können reflektionsarm präsentiert werden. Der Benutzer muss keine manuellen Beleuchtungseinstellungen vornehmen. Über eine Infrarot-Fernbedienung sind Zoom und Helligkeit des Makroskops steuerbar.

Stereomikroskop Olympus SZH 10 (Olympus Opt. Corp.)

Mit Hilfe des Stereomikroskops kann der Fetalpathologe Übersichtsaufnahmen von kleinen Organen (Herz, Lunge, Leber etc.) aufnehmen oder Detailbefunde darstellen. Ermöglicht wird dies durch eine stufenlose Objektvergrößerung innerhalb der Zoomstufen 1-7 (Abb. 20). Dabei entspricht die Zoomstufe 1 einem Übersichtsbild (1,5-fache Vergrößerung) und die Zoomstufe 7 einem Detailbild (3,5-fache Vergrößerung).

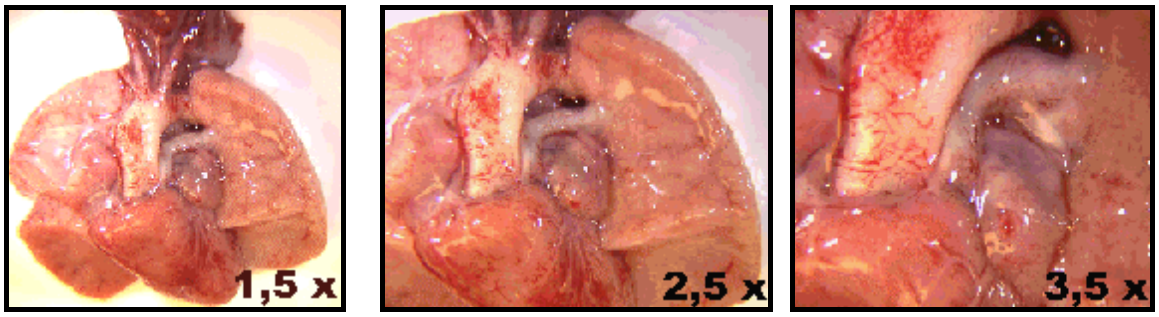


Abb. 20: Herz-Lungen-Paket eines Fetus, 22. SSW
a: Übersichtsaufnahme mit Stereomikroskop (1,5-fache Vergrößerung) b: Zoomstufe 4 (2,5-fache Vergrößerung) c: Detailbild (3,5-fache Vergrößerung)

Das Stereomikroskop ist mit 4 flexiblen Lichtquellen ausgestattet, die variabel angeordnet werden können. Dies erlaubt eine Beleuchtung, welche an die jeweiligen Organe angepasst werden kann, sowie die Ausleuchtung von hohlen Präparaten (siehe Abb. 21).

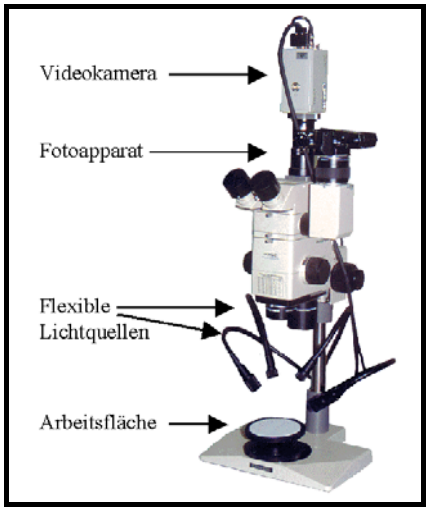


Abb. 21: Stereomikroskop Olympus SZH 10

Das Stereomikroskop ist mit einem Fotoapparat (Olympus Teleconverter 2X-A) und einer Farb-TV-Kamera (Sony 3 CCD DX 930p) mit seriellem Rechneranschluss, ausgestattet. Das RGB - Signal der Kamera wird mit einer Matrox Meteor (Matrox Electronic Systems Ltd. Dorval/Canada) gegrabbt. Dieses Equipment erlaubt die Darstellung der Bilder des Stereomikroskops auf einem angeschlossenen Monitor oder die Belichtung eines Filmes (z. B. Kodak Select Elite Chrom 400 ASA).

Weiterhin werden eine **Waage** von Sartorius AG Göttingen, ISO 9001 zum Messen der Organgewichte und ein **Millimetermessband** zum Messen von Organgrößen oder

Körpermaßen eingesetzt.

Personal Computer und Software

Für die Befunddokumentation und die Fallarchivierung ist am Fetalpathologie-Arbeitsplatz ein Computersystem aufgebaut. Die Konfiguration des PC ist in Tabelle 3 angegeben.

Tab. 3: Technische Daten der Geräte am Fetalpathologie-Arbeitsplatz

Gerät	Komponenten	Spezifikation
Makroskop	*Typ*	*Wolfvision VZ 15b*
	Kamera	*1-CCD Videokamera, 470 Linien*
	Zoom	*12 fach Zoom*
	Videoausgänge	*Composite Y/C und RGB - Ausgang und BNC Kabel*
	Anschluss an PC	*S-VHS*
Stereomikroskop	*Typ*	*Olympus SZH 10 (Research Stereo)*
	Kamera	*Sony 3 CCD DX 930p*
	Zoom	*Zoom Stufe 1 bis 7 (stufenlos)*
	Verbindung mit PC	*seriell*
PC	*Betriebssystem*	*Windows NT 4.0 und Win 95*
	Prozessor	*x86 Family 6 Model 5 Steppin 3 AT/AT Compatible*
	Arbeitsspeicher	*64 MB*
	Festplatte / Speicher	*6 GB*
	Framegrabber	*Meteor PCI Frame Grabber von Matrox*
	Videokarte	*Winnov Videum*
	Netzkarte	*Ethernet*
	Monitor	*Belinea 17"; 16 Mio. Farben, 800x600 Pixel; 85 Hz Bildwiederholfrequenz*
	Drucker	*Hewlett Packard Deskjet 840c*

Für die Koordination und Bedienung der einzelnen Komponenten sind verschiedene Programme notwendig. Von wesentlicher Bedeutung für die Fallarchivierung und für die Dokumentation ist die interdisziplinäre Datenbank PIA (PIA= **P**rofessional **I**mage **A**rchiving, Viewpoint Bildverarbeitung GmbH, Gilching bei München) und das kommerzielle System TPS (Leica Microsystems Wetzlar und Charité), deren Aufgaben in der folgenden Tabelle 4 zusammengefasst sind.

Tab. 4: Vergleich der wichtigsten Programme des Ftealautopsie-Arbeitsplatzes

	PIA	TPS
Aufgabe	*Befunddokumentation*	*Telepathologische Konsultation*
Steuerung von	*- Makroskop* *- Stereomikroskop*	*- Makroskop* *- Stereomikroskop* *- Mikroskop*
Datenbank	*Befunde, Bilder, behandelnde Ärzte, Einsender, Diagnosen*	*Falldaten, Übersichtsbilder, Bilder, Konsultationspartner und Transaktionsdaten, Diagnosen*
Hauptinhalte	*Autopsieprotokolle*	*Telepathologische Fälle*
Identifikation	*Passwortgeschütztes Login*	*Passwortgeschütztes Login*
Architektur	*Client - Server*	*Client - Server*

3.1.2 Arbeitsablauf in der Fetalpathologie

Die Befundung in der Fetalpathologie umfasst die Begutachtung des Feten und der zugehörigen Plazenta. In Einzelfällen werden histologische oder zytologische Befunde von intrauterin entnommenem Material erhoben.

Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitsschritte bei der Autopsie eines Feten beschrieben.

Fallaufnahme:

Die Fallaufnahme steht am Anfang der Kette der Arbeitsschritte. Dabei werden alle für die Autopsie relevanten Befunde der Patientin und des Feten erfasst, zum Beispiel Anamnesedaten der Patientin und ihrer Familie, Fetogramme, humangenetische und zytogenetische Befunde etc. Diese Daten spielen für die Sektionsplanung eine wichtige Rolle und können durch den Einsatz spezieller interdisziplinärer Datenbanken (z.B. PIA-Datenbank) schnell und problemlos abgerufen werden.

Sektion und Falldokumentation:

In der Fetalpathologie handelt es sich bei der Sektion um eine sogenannte „Minisektion", wobei sich die Vorgehensweise an den Sektionsschritten der Erwachsenensektion orientiert. Zunächst erfolgen die äußere Besichtigung des Feten, die Bestimmung der Körpermaße und die bildliche Dokumentation.

Danach erfolgen die innere Besichtigung mit Beurteilung der inneren Organsysteme und die Gewebeentnahme für mikroskopische Untersuchungen. Pathologisch auffällige Befunde werden bildlich dokumentiert.

Parallel zur Autopsie werden die Befunde zur Anfertigung des Autopsieprotokolls schriftlich dokumentiert.

Histologische Aufarbeitung des Gewebes:

Die entnommenen Gewebeproben werden für die mikroskopische Diagnostik formalinfixiert, zu einem späteren Zeitpunkt zugeschnitten und im Labor standardisiert aufgearbeitet. Danach erhält der Sekant die histologischen Schnittpräparate mit den entsprechenden Färbungen zur Beurteilung der Organbefunde.

Befundeinordnung:

Die Einordnung der autoptisch erhobenen Befunde muss im Zusammenhang mit den klinischen Befunden und Anamnesedaten erfolgen. Eine wichtige Rolle spielen dabei auch die zytogenetischen Befunde. Je nach Entwicklungsalter und Zustand des Feten, sowie assoziierten Fehlbildungen wird das vorliegende Fehlbildungsmuster entsprechend klassifiziert.

Fallabschluss:

Nach der Befundeinordnung folgt die Festlegung der abschließenden Diagnose. In dem endgültigen Autopsiebericht werden neben den postmortal erhobenen Befunden, die entscheidenden interdisziplinären Befunden einbezogen.

Die relevanten Autopsiebefunde werden regelmäßig in einem interdisziplinären Konzil mit den Pränatalmedizinern, Genetikern und Radiologen im Rahmen des Perinatalzentrums besprochen.

3.2. Das Telepathologiesystem TPS

3.2.1. Technischer Aufbau der eingesetzten Systeme

Am Institut für Pathologie der Charité werden seit mehreren Jahren telepathologische Lösungen entwickelt und in der Routine eingesetzt. Das Ergebnis einer Zusammenarbeit des Institutes für Pathologie, der Universitätsfrauenklinik („Funktionsbereich pränatale

Diagnostik und Therapie“) und Leica Microsystems Wetzlar GmbH ist die Entwicklung des kommerziellen Systems TPS (Hufnagl et al. 2000b).

Diese Software ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen örtlich getrennt arbeitenden Pathologen an unterschiedlichen Arbeitsplätzen über LAN, ISDN und Internet.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse telepathologischer Techniken wurden folgende Telepathologie-Arbeitsplätze genutzt (siehe Abb. 22):

- Fetalpathologie-Arbeitsplatz (A)
- Telepathologie-Arbeitsplatz in der Automatischen Mikroskopbildanalyse (AMBA) (B)
- Telepathologie-Arbeitsplatz in der Abteilung Paidopathologie und Placentologie, Campus Virchow Klinikum (C)

Grundvoraussetzung für die Arbeit mit dem TPS und die Verknüpfung der einzelnen Arbeitsplätze ist das Vorhandensein bestimmter Komponenten (Tab. 3). In der Abb. 22 sind die verwendeten Arbeitsplätze mit den wesentlichen Komponenten und ihrer Verknüpfung über das Charité-Netz dargestellt.

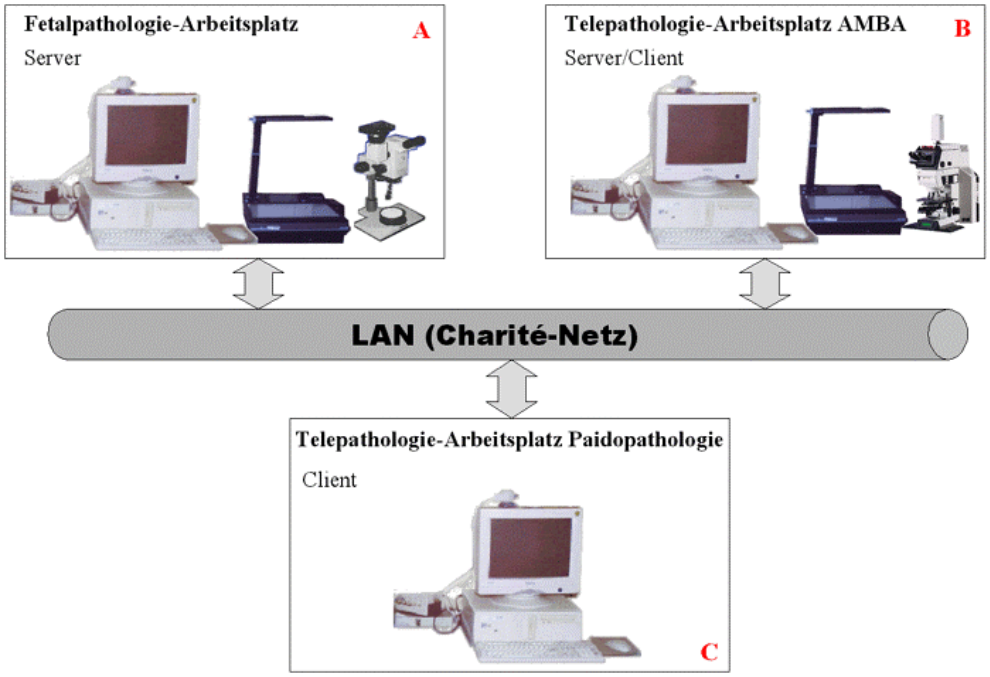


Abb. 22: Telepathologie-Arbeitsplätze, die im Rahmen der Studien Verwendung fanden

Die drei Arbeitsplätze sind unterschiedlich ausgestattet, da sie für verschiedene Aufgaben verwendet werden.

Autopsie

Am Fetalpathologie-Arbeitsplatz erfolgt die Autopsie von Feten sowie deren makroskopische und stereomikroskopische Beurteilung. Die technische Ausrüstung wurde bereits ausführlich in 3.1.2 beschrieben (Tab. 3). Von diesem Arbeitsplatz (Server) wurden telepathologische Anfragen gestellt: **1. Konsultation** (Online zum Telepathologie-Arbeitsplatz in der AMBA) und **2. Zweite Meinung** (Online zum Telepathologie-Arbeitsplatz in der Abteilung Paidopathologie und Placentologie, Campus Virchow-Klinikum)

Beratung

Am Telepathologie-Arbeitsplatz AMBA erfolgte die **mikroskopische** Begutachtung **histologischer Präparate.** Weiterhin wurden hier die **Anfragen aus dem Fetallabor entgegengenommen** (Client) und außerdem wurden **telepathologische Anfragen an einen Experten am Telepathologie-Arbeitsplatz Paidopathologie gestellt** (Server). Der

Arbeitsplatz B in der AMBA war folgendermaßen ausgestattet:

Tab. 5: Technische Ausstattung des Telepathologie-Arbeitsplatzes AMBA

Komponente	Teil	Bezeichnung
PC	*Betriebssystem*	*Windows 95 B*
	Prozessor	*Pentium II*
	Arbeitsspeicher	*128 MB RAM*
	Festplatte / Speicher	*C: 2GB; D: 3GB*
	Grafikkarte	*Elsa Victory Erazor LT*
	Framegrabber	*Meteor PCI Frame Grabber von Matrox*
	Videokarte	*Winnov Videum Board PCI AV; Hardwaretyp 6.4; Software Version 2.7.2 Release*
	Netzkarte	*3Com fast EtherLink XL 10/100 Mb Ethernet*
	Monitor	*Belinea 17"; 32 Bit Truecolor, 1152x864 Pixel; 75 Hz Bildwiederholfrequenz*
	Videokonferenzsystem	*Winnov-Videum*
Netzverbindung	*Typ*	*WAN/ISDN, LAN*
	Geschwindigkeit	*LAN (10Mbps)*
Mikroskop	*Typ*	*Leica DM RXA*
	Mikroskopkamera	*Hitachi HV-C20M 3CCD-Farbkamera, ½"Chip, RGB, effektive Pixelzahl 762x508x3, 24 bit-Farbauflösung*
	Autofokus	*I-Sight Autofokus mit serieller Schnittstelle*
Makroskop	*Typ*	*Wolfvision VZ 15b*
	Kamera	*1-CCD Videokamera, 470 Linien*
	Zoom	*12 fach Zoom*
	Verbindung mit PC	*Composite Y/C und RGB - Ausgang, S-VHS und BNC Kabel*

Konsultation

Der Telepathologie-Arbeitsplatz in der Abteilung Paidopathologie diente ausschließlich der **Beantwortung der Anfragen** der beiden anderen Arbeitsplätze (Client). Die technische Ausstattung dieses Arbeitsplatzes beschränkte sich auf den PC mit Netzverbindung (Tab. 6).

Tab. 6: Technische Ausstattung des Telepathologie-Arbeitsplatzes Paidopathologie

Komponente	Teil	Bezeichnung
PC	*Betriebssystem*	*Windows 95 B*
	Prozessor	*Pentium II*
	Arbeitsspeicher	*128 MB RAM*
	Festplatte / Speicher	*C: 2GB*
	Grafikkarte	*Elsa Victory Erazor LT*
	Videokarte	*Winnov Videum Board PCI AV; Hardwaretyp 6.4; Software Version 2.7.2 Release*
	Netzkarte	*3Com fast EtherLink XL 10/100 Mb Ethernet*
	Monitor	*Belinea 17"; 32 Bit Truecolor, 1152x864 Pixel; 75 Hz Bildwiederholfrequenz*
	Videokonferenzsystem	*Winnov-Videum*
Netzverbindung	*Typ*	*WAN/ISDN, LAN*
	Geschwindigkeit	*LAN (10Mbps)*

3.2.2. Prinzipien der Kommunikation

Die Kommunikation zwischen den TPS-Partnern kann theoretisch online und offline erfolgen. Der Offline-Modus ist jedoch bei der hier verwendeten TPS Version nicht möglich. Für die Offline-Konsultation wurden daher PowerPoint Präsentationen mit allen Fallinformationen (Anamnesedaten, klinische Befunde, Autopsiebefunde, Bilder etc.) sowie der Anfrage erstellt und per E-Mail (Netscape Mail oder Outlook Mail) versendet.
In der Abbildung 23 wird die Benutzeroberfläche des TPS vorgestellt.

Mit dem TPS können im Online-Modus bereits aufgenommene Übersichtsbilder (C) als Grundlage für die Live-Diskussion verwendet werden. Im Hauptfenster (G) ist das makroskopische Bild des angeschlossenen Stereomikroskops abgebildet. In diesem Bild ist ein Bereich markiert und mit einem Pfeil versehen. Dies illustriert den Annotationsmodus

des TPS. Im das Annotationsmenü (F) können die TPS-Partner das aktuelle Bild im Hauptfenster besprechen. Über das Fernsteuerungsmenü (D) kann ein angeschlossenes Mikroskop bedient werden. Gleichzeitig können sich die beteiligten TPS-Partner sehen (E).

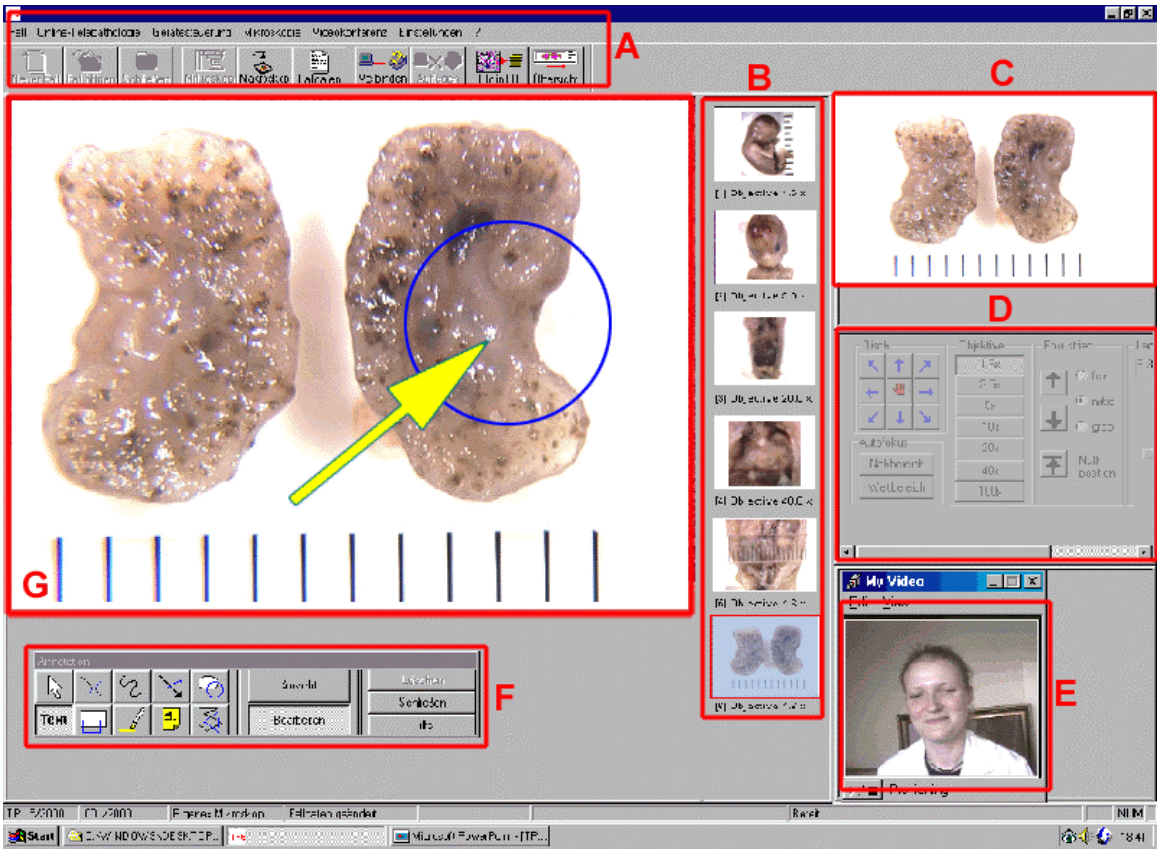


Abb. 23: Screenshot der TPS-Oberfläche während einer Online Video-Konferenz:

A: Menüleiste zur Bedienung des TPS
B: Bildgalerie makroskopischer Bilder des aktuellen Falles
C: Übersichtsbild des aktuellen Präparates auf dem Objekttisch des Stereomikroskops
D: Fernsteuerungsmenü
E: TPS-Konsultationspartner (Videobild der Personenkamera)
F: Annotationsmenü
G: Hauptfenster mit aktuellem makroskopischen Bild

Das TPS ermöglicht im Online-Modus folgende Vorgänge:

- Falldatenübertragung (verschlüsselt),
- Livebildübertragung,
- Übertragung statischer Bilder (makroskopisch und mikroskopisch),
- Fernsteuerung des Mikroskops (Objekttisch, Objektiv, Fokus, Helligkeit/Lampenspannung etc.),
- Live-Zeigefunktion (im Diskussionsmodus)
- Ton- und Bildübertragung bei einer Videokonferenz zwischen den TPS-Partnern,
- Schriftlicher Dialog (Diskussion, Fragestellung, Zweite Meinung, Diagnose etc.)

3.2.3.

Aktuelle Einsatzgebiete des TPS

In der Einleitung wurde schon auf die gegenwärtigen Einsatzgebiete von telepathologischen Systemen eingegangen. Das hier verwendete Telepathologie-System TPS wird bereits für verschiedene Zwecke eingesetzt:

- Einholen einer Zweiten Meinung für die konventionelle Histologie
- Einholen einer Zweiten Meinung im Schnellschnitt
- Primärdiagnostik im Schnellschnitt für Krankenhäuser ohne Pathologen
- Konsensusbildung
- Sammlung von Referenzfällen

Tabelle 7 veranschaulicht die Häufigkeit des Einsatzes am Institut für Pathologie der Charité:

Tab. 7: Routineeinsatz des TPS

Formen der Telepathologie	Einsatzszenario	Häufigkeit
Primäre Schnellschnitt-diagnostik	- Schnellschnittdiagnostik Klinikum Buch (ATM)*	3-6 mal täglich
Zweite Meinung im Schnellschnitt	- Zweite Meinung (Schnellschnitt-Labor mit Institut für Pathologie Campus Charité Mitte)	1-5 mal je Woche**
Primäre Schnellschnitt-diagnostik	- Schnellschnittdiagnostik Havelland Klinikum Nauen	1-2 mal je Woche
Zweite Meinung Histologie	- Expertenkonsultation Institut für Pathologie Campus Virchow Klinikum	1-2 mal je Woche

**ATM (Glasfasernetz), kein Softwareinterface, Übertragung reiner Bilddaten, Audiokonferenz*
*** Je nach Erfahrung des Pathologen im Schnellschnitt-Labor und der Problematik des Untersuchungsgutes*

3.2.4. Integration des TPS in den Arbeitsablauf der Fetalautopsie

Wichtig für die Integration des TPS ist, dass bisherige Arbeitsschritte nicht erschwert werden. Im besten Fall sollte der gesamte Arbeitsablauf quantitativ und qualitativ verbessert werden.

Entsprechend dem unter 3.1.2 beschriebenen Arbeitsablauf der Autopsie eines Feten wird ein erweitertes Ablaufschema vorgestellt, welches die Integration telepathologischer Techniken in die einzelnen Arbeitsschritte zeigt. Dieses Schema bezieht sich auf die routinemäßige Autopsie eines Feten. Es werden Fehlbildungen oder pathologische Befunde diagnostiziert, die das Hinzuziehen eines Kollegen (erfahrener Fetalpathologe oder Experte) mit Hilfe telepathologischer Techniken erforderlich machen.

Fallannahme:

Die Fallinformationen (Arztbriefe, Anamnesedaten, klinische Vorbefunde etc.) werden aus einer zentralen interdisziplinären Falldatenbank abgerufen.

Sektionsplanung und -vorbereitung:

Anhand der vorliegenden Falldaten wird die Sektion geplant und entsprechend vorbereitet. Bei der Feststellung von pränatal nicht diagnostizierten oder multiplen Fehlbildungen mit unklarem Muster können mögliche Unsicherheiten durch Konsultation eines Kollegen geklärt werden.

Die Falldaten und die bisher ermittelten pathologischen Befunde werden mit Hilfe der Videokonferenz präsentiert und können diskutiert werden. Ebenso wird der weitere Ablauf der Sektion festgelegt. Durch Zugriff auf eine Referenzfalldatenbank können Vergleiche mit ähnlichen Fällen vorgenommen werden.

Sektion - Makroskopie:

Im weiteren Verlauf der Sektion unter Anleitung des konsultierten Kollegen werden wichtige Befunde aufgenommen, dokumentiert und in der Falldatenbank abgelegt.

Das Stereomikroskop kommt zum Einsatz, wenn es beispielsweise um die Darstellung und Aufnahme wichtiger Befunde bei Embryonen und Feten aus frühen Schwangerschaftswochen oder bestimmter Organbereiche geht. Da das Stereomikroskop über einen speziellen Präparattisch mit 4 flexiblen Lichtquellen und besonderer Zoomvorrichtung verfügt, kann man sehr kleine Organe (z.B. fetale Herzen von 1cm Größe) detailliert betrachten und Detailbefunde darstellen.

Mit Hilfe einer Videokonferenz kann sich der konsultierte Pathologe einen Überblick über den Sektionsablauf verschaffen und entscheidende Situationen kommentieren.

Histologische Aufarbeitung – Mikroskopie:

Die Begutachtung der histologischen Präparate erfolgt in der Regel konservativ. Bei Unklarheiten kann ein Kollege online oder offline um eine zweite Meinung gebeten werden. Hierbei (online) empfiehlt sich die Benutzung eines fernsteuerbaren Mikroskops, mit angeschlossener Digitalkamera. Der konsultierte Kollege kann das Präparat unter dem Mikroskop ferngesteuert bewegen, die Objektive wechseln, durch das Präparat fokussieren, sowie die Lampenspannung (= Helligkeit) regulieren. Dabei ist eine Videokonferenz nicht notwendig. Lediglich eine Audioverbindung sollte bestehen, um eventuelle Probleme besprechen zu können.

Befundeinordnung und Fallabschluss

Die Einordnung der diagnostizierten Befunde kann in der direkten Diskussion mit dem konsultierten Kollegen erfolgen. Unter Benutzung des Videomodus können die vorliegenden Fehlbildungsmuster im Gespräch bewertet und durch Einbeziehung interdisziplinärer Vorbefunde entsprechend klassifiziert und eingeordnet werden. Dabei kann ein Vergleich mit ähnlichen Fällen aus der Referenzdatenbank sehr nützlich sein.

Nach Diagnosestellung werden alle Befunde, Dokumente und Bilder in die Falldatenbank eingetragen und der Fall wird als abgeschlossen definiert (erhält den Status „Abgeschlossen“).

Paralleler Schritt (Falldokumentation):

Parallel zu den Schritten dieser Arbeitskette erfolgen die makroskopische Dokumentation des äußeren und inneren Situs, sowie der Organpakete. Kleine Organe und wichtige Befunde werden mit dem Stereomikroskop detailliert aufgenommen. Dynamische Aufnahmen, d.h. das Anfertigen einer Videosequenz (z.B. Darstellung einer Herzfehlbildung entsprechend des Blutflusses) sind möglich, werden aber selten notwenig sein.

Die folgende Tabelle veranschaulicht den Arbeitsablauf bei einer Fetalsektion und die dafür benutzen technischen Möglichkeiten des TPS:

Arbeitsschritte Fetalpathologie	TPS - Funktionen					
	Makroskopie	Stereomikroskopie	Mikroskopie	Audio/Videokonferenz	Falldatenbank	Referenzdatenbank
1. Fallannahme	_____	_____	_____	- Anfrage formulieren	- Ansicht der interdisziplinär erhobenen Falldaten	- Suche nach telepathologischen Vorbefunden
2. Sektionsplanung	- Gesamtansicht des Fetus - Eröffneter Situs - Relevante Befunde - Möglichkeit an das Präparat zu zoomen - Für Befundvorstellung notwendig		_____	- Live-Diskussion	- Abrufen von Vorbefunden für Vorbereitung und Planung	- Bei Unklarheiten Vergleich mit ähnlichen Fällen
3. Sektion	- Demonstration und Dokumentation - Übersicht, Situs, relevante Befunde - Dynamik notwendig für Befundverständnis - Live-Darstellung der Sektionsschritte - Möglichkeit an das Präparat zu zoomen		_____	- Während der gesamten Sektion oder teilweise - 3D-Eindruck, zahlreiche Ansichten unter Bewegung	- Ablage von Befunden und Bildern	- Bei Unklarheiten Vergleich mit ähnlichen Fällen
4. Histologie	_____	- Erstellungen eines groben Übersichtsbildes	- Bei eindeutiger Befund-darstellung statische Bilder ausreichend - Bei problemat. Befund Online-Konsultation mit Fernsteuerung sinnvoll	- Live-Diskussion	- Ablage von Befunden und Bildern	- Bei Unklarheiten Vergleich mit ähnlichen Fällen
5. Befundeinordnung	- Nach Einholen einer Zweiten Meinung/Konsultation			- Live-Diskussion	- Fall mit klassifizierten Befunden und Abschlussdiagnose	- Als Hilfsmittel zur Einordnung unklarer Befunde ähnlicher Fälle
Parallel Falldokumentation	- Grundsätzlich notwendig zur Dokumentation von äußerem und innerem Situs (Makroskopie), sowie kleinere Organ- und Detailbefunde (Stereomikroskopie)		- Grundsätzlich notwendig	- Dokumentation von anfallenden Audio- und Videodaten ist mit dem TPS noch nicht möglich	- Ablage aller Befunde und Bilder, die während der gesamten Sektion anfallen	- Einordnung des Falles in die Referenzdatenbank

Tab. 8: Integration des TPS in den Arbeitsablauf einer Fetalsektion

3.3. Studie zur Bildqualität makroskopischer Bilder

Das Versenden von Falldaten (insbesondere Dokumente, klinische Befunde und Bilder), sowie die Übertragung von Audio- und Videodaten, Steuerungsbefehle etc. über moderne Kommunikationsnetze, setzt eine hinreichend große Übertragungsgeschwindigkeit voraus, um im Routineeinsatz praktikabel zu sein (Kayser 1995, Bittorf 1997, Della Mea 1998b u.v.a.).

Für eine optimale Übertragungsgeschwindigkeit ist ein schnelles Netz mit hoher Bandbreite notwendig. Netze mit großer Bandbreite sind jedoch noch nicht flächendeckend verfügbar, weshalb gegenwärtig die Reduktion des Datenumfanges im Vordergrund steht.

In der Telepathologie wird mit digitalen Bildern gearbeitet. Sie bilden den größten Anteil des zu versendenden Datenmaterials. Da die Qualität dieser Bilder entscheidend für eine exakte und sichere Diagnostik ist, kann eine verlustbehaftete Kompression der Bilder nicht ohne weiteres vorgenommen werden.

Digitale Bilder sind spezielle Datenstrukturen, bei denen man verschiedene Formen unterscheidet (Binärbilder, Grauwertbilder, Farbbilder, ein-, zwei- und dreidimensionale Bilder, etc.). In der Telepathologie werden z. Zt. ausschließlich zweidimensionale Farbbilder genutzt.

Ein digitales Bild besteht aus einzelnen Bildpunkten, die man mathematisch am besten mit einer Matrix beschreiben kann, Bildmatrix genannt.

Die Bildpunkte werden als Pixel (Kunstwort abgeleitet von „picture element“) bezeichnet.

Um eine Vorstellung von einer Bildmatrix zu bekommen, zeigt die Abbildung 24 das Modell einer zweidimensionalen Bildmatrix, dabei ist M die Spaltenzahl und N die Zeilenzahl der Matrix.

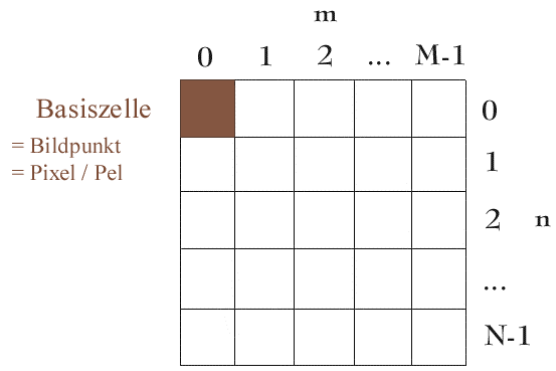


Abb. 24: Darstellung einer Bildmatrix

Ein Pixel kann also folgende Positionswerte annehmen:

m = 0, 1, ... , M-1 (Spaltenindex)

n = 0, 1, … , N-1 (Zeilenindex)

Bildpunkte besitzen verschiedene Eigenschaften. Bei Grauwertbildern ist jedem Punkt ein bestimmter Grauwert zugeordnet. Bei Farbbildern werden ein Rot-, ein Grün- und ein Blauwert zugeordnet (im RGB-Mode). Bei einem 24-bit Farbbild kommen zu den RGB-Werten noch 8 Helligkeitsabstufungen hinzu, also liegen die drei Farbkanäle in 2^8 Stufen vor.

Die Größe eines Bildes gibt dessen Bildpunkte pro Zeile und die Zeilen pro Bild wieder. Ein normiertes Maß für die Auflösung ist die Anzahl der Punkte pro Längeneinheit (dots per Inch = dpi), z.B. 800 x 600 dpi bedeutet 800 dpi in x-Richtung und 600 dpi in y-Richtung.

3.3.1. Einflussfaktoren auf die Bildqualität

Im folgenden sollen die möglichen Störfaktoren auf dem Weg von der Entstehung eines Bildes bis zu seiner Präsentation dargestellt werden (Tab. 9). Dabei liegt der Schwerpunkt auf makroskopischen Bildern von fixierten und unfixierten Organen. Unter Berücksichtigung der Vielfalt der Organe in unterschiedlichen Krankheits- und Erhaltungszuständen, sowie in Auswertung der Untersuchung eines konkreten Präparates (fixiertes fetales Herz mit hypoplastischem Linksherzkomplex), werden die einzelnen Einflussfaktoren betrachtet.

Tab. 9: Einflussfaktoren auf die Bildqualität von der Entstehung bis zur Präsentation makroskopischer Bilder

Bildkette	**Aufnahme**	**Datenreduktion**	**Übertragung**	**Darstellung**
Einfluss-faktoren	- Präparateigenschaften - Beleuchtung - Makroskop- u. Mikroskopeinstellung - Stereomikroskop-einstellung - Kameraeigenschaften	- Inhalt - Auflösungsänderung - Kompressions-verfahren - Kompressionsrate	- Übertragungsart - Übertragungsweg - Übertragungsge-schwindigkeit - übertragungseigene Kompression	- Monitoreigenschaften - Monitoreinstellung - Monitorgröße - Umgebungs-verhältnisse

Aufnahme

Die Qualität mikroskopischer Präparate wird beeinflusst durch: Gewebefixierung, Gewebezuschnitt, Schnittdicke, Färbungen etc. Für die histologische Diagnostik gibt es verschiedene Verfahren: Gefrierschnittechnik, Aufarbeitung formalinfixierten Materials, u. a.

Die Betrachtung der Bildqualität mikroskopischer Präparate soll aber nicht Schwerpunkt dieser Arbeit sein. Zu näheren Informationen wird deshalb auf die Dissertationsarbeit von J. Schlesner HU Berlin 2002 verwiesen, die sich ausschließlich mit der Bildqualität mikroskopischer Bilder beschäftigt.

Bei makroskopischen Präparaten beginnt die Einflusskette bereits bei der Entstehung bzw. Aufnahme eines Bildes. Die Qualität und Auflösung der verwendeten **Kamera** spielt dabei eine sehr wichtige Rolle. Ebenso die **Beleuchtungsverhältnisse** oder Raum- und Präparatbeleuchtung bei makroskopischen Objekten oder Lichtverhältnisse des Stereomikroskops (z.B. Lampenspannung, Anordnung der Strahler etc.). Schließlich beeinflusst der **Zustand** des Objektes/Präparates selbst die Qualität des entstehenden Bildes. Damit ist nicht nur der Erhaltungszustand (z.B. Autolyse oder artifizielle mechanische Alterationen) oder der Fixierungszustand eines Organs gemeint, sondern auch der Zustand der Organoberfläche oder die Spezifität der Organsstruktur.

Bei der Bildaufnahme werden gegenwärtig vornehmlich 3-Chip-CCD-Kameras (CCD = charge coupled device) eingesetzt, dabei handelt es sich um Halbleitersensoren, die im sichtbaren Licht die Bildinformationen in elektrische Signale umwandeln. Die wesentlichen Vorteile dieser Kamerasysteme sind die gute Lichtempfindlichkeit und ihre langfristige geometrische Stabilität (Jähne 1991). Die in die Kamera integrierten Chips (zweidimensionale Felder aus Photodioden) wandeln das kontinuierliche drei-dimensionale Bild des Organs in ein diskretes Raster aus Bildpunkten um. Dieses Raster entspricht der zweidimensionalen Bildmatrix des digitalen Bildes, wobei jeder Rasterpunkt dieser Matrix von einer Photodiode gebildet wird.

Historisch bedingt (wegen der Verbreitung des Standards) geben die eigentlich digitalen CCD-Kameras ein analoges Videosignal (z.B. PAL) nach außen ab. Dieses wird z.B. über eine Digitalisiereinheit (Framegrabber) in ein digitales Bild zurückgewandelt. Bei der zweiten Wandlung können erhebliche Verluste auftreten.

Die Tiefenschärfe ist für die Makroskopie ein wichtiger Parameter bezüglich Bildqualität und diagnostischer Sicherheit. Sie ist der Bereich des fotografierten Raumes, der mit eindeutigen Kanten abgebildet wird.

Eine große Tiefenschärfe zeichnet sich durch einen weiten Bereich innerhalb des Raumes aus, der scharf abgebildet wird, d.h. das Objekt wird in mehreren Ebenen mit eindeutigen Kanten abgebildet.
Bei der Bildaufnahme wird allerdings immer nur auf eine Ebene scharfgestellt, diese kann man sich als Glasscheibe im Raum vorstellen. Die Tiefenschärfe, also die Anzahl der Ebenen vor und hinter der Glasscheibe, die scharf abgebildet werden, wird beeinflusst durch die Blende und das Objektiv. Je kleiner die Blendenöffnung, desto größer ist die Tiefenschärfe. Ein Weitwinkel-Objektiv (21 mm, 28 mm, 35 mm etc.) bildet eine größere Raumtiefe (Anzahl an parallelen Raumebenen) scharf ab, als ein Tele-Objektiv (100 mm, 135 mm, 200 mm, 500 mm etc.). Bei Tele-Objektiven beträgt die Tiefenschärfe nur wenige Millimeter vor und hinter der fokussierten Ebene. Eine etwas größere Tiefenschärfe kann durch höhere Helligkeit erzielt werden.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Bildqualität hat die Beleuchtung. Je nach Art der Lichtquelle können unterschiedliche Artefakte auf dem Bild entstehen. Durch Reflexion, Brechung und Streuung des einfallenden Lichtes, abhängig von der Objektoberfläche, entstehen Glanzlichter (spiegelnde Lichtreflexe, diese werden möglicherweise durch die Kamera verstärkt => Blooming) und Schatten, diese machen den räumlichen Eindruck eines makroskopischen Bildes aus. Zum anderen können diese Spiegelungen einen veränderten Bildeindruck herbeiführen, beispielsweise Details vortäuschen, die nicht vorhanden sind, oder kleinere Organbefunde im Bild unsichtbar erscheinen lassen.

Es ist wichtig, bereits bei der Aufnahme der Bilder auf optimale Beleuchtungsverhältnisse zu achten. Dabei kann die Beleuchtungsstärke der Lichtquelle verändert werden: die ausgestrahlten Lichtwellen treffen auf das Zielobjekt und werden je nach Oberflächenbeschaffenheit reflektiert, gebeugt, gebrochen oder absorbiert. Nur ein Bruchteil der ursprünglichen Lichtwellen gelangt durch das Objektivsystem der Kamera auf den Chip. D. h. die Intensität der Lichtquelle und die Oberfläche des Objektes (Reflexionsverhalten) bestimmen die Helligkeit mit der das Objekt aufgenommen wird.

Datenreduktion

Wie bereits in vorangehenden Abschnitten angedeutet, muss vor der Datenübertragung eine entsprechende Datenreduktion vorgenommen werden, damit ein praktikabler Routineeinsatz möglich ist.

Für die Reduktion des Datenumfanges von Bildern kommen zwei Verfahren zur Anwendung.

- Verringerung der Auflösung (Pixel je Längeneinheit in dpi)
- Bildkompression (verlustfrei oder verlustbehaftet)

Die Untersuchung des Einflusses der Auflösungsänderung auf die subjektiv eingeschätzte Bildqualität erfolgt in Studie Ia (Auflösungsstudie), während die Auswirkung der Kompression in Studie Ib (Kompressionsstudie) untersucht wird.

Übertragung

Die Übertragung von Informationen unterliegt bestimmten Anforderungen. Einerseits sollten Nachrichten fehlerfrei in zumutbarer Zeit den Empfänger erreichen, und andererseits muss ein unberechtigter Zugriff durch Dritte verhindert werden. Letzteres ist ein generelles Problem bei Datennetzen, denn eine absolute Sicherheit vor fremden Zugriffen gibt es nicht.

Die Geschwindigkeit, mit der Daten übertragen und empfangen werden, ist abhängig von der zugrundeliegenden Netzstruktur.

Tab. 10: Geschwindigkeit der Versendung einer 1 Mb großen Bilddatei (500 x 700 dpi)

Bezeichnung	Bandbreite	Dauer der Übertragung
Telefonleitung (Modem)	33,6 – 56 KBps	14-46 min*
ISDN	64 KBps	2-18 min*
n-gebündelte ISDN-Kanäle	n x 64 KBps	n x (2-18) min*
Ethernet = LAN	10 MBps	0,01 min (=0,6 s)
FDDI	100 MBps	0,001 min (=0,06 s)
ATM	144 MBps	0,0001 min (=0,006 s)

** Die Schwankungen entstehen je nach Netzauslastung (Modemübertragungen schwanken zwischen 3-10 Kb; ISDN-Übertragungen liegen zwischen 8-30 Kb)*

Grundsätzlich sind Fehler bei der Datenübermittlung nicht auszuschließen. Diese werden größtenteils durch Netzstörungen (z.B. Spannungsschwankungen) hervorgerufen. Stromunterbrechungen oder Einflüsse der Netzauslastung („traffic") können die Datenübertragung ebenfalls beeinträchtigen. Mit Hilfe entsprechender Software kann dies durch Prüfroutinen berücksichtigt und ausgeschlossen werden.

Darstellung

Die Darstellung des Bildes auf der Empfängerseite ist von mehreren Faktoren abhängig:

- Eigenschaften des benutzten Monitors (horizontale, vertikale Frequenz; Diagonale; Krümmungsradius der Bildröhre; Art der Lochmaske; Strahlung etc.),
- Einstellung des benutzten Monitors (Auflösung, Helligkeit, Kontrast, Farbmuster, geometrische Verzerrungen etc.).
- Umgebungseinflüsse während der Betrachtung der Bilder im Rahmen der Beurteilung eines Falles (z.B. Umgebungsbeleuchtung mit Reflexionen auf dem Bildschirm; Hintergrundunruhe, die konzentriertes Arbeiten erschwert; etc.)

Für die Untersuchungen wurde ein 21" Monitor (ViewSonic) mit einer Pixelanzahl von 1600 mal 1200, einer Farbtiefe von 24 bpp (16,7 Millionen Farben) und einer Bildwiederholfrequenz von 85 Hz verwendet. Helligkeit und Kontrast wurden vor der ersten Untersuchung kalibriert und im Verlauf der Studien konstant gehalten.

3.3.2. Auflösungsstudie - Studie Ia

Um die Datenmenge der Bilder zu reduzieren, wurde die Anzahl der Bildpunkte der einzelnen Bilder reduziert, also zum Beispiel von 2400 dpi auf 1200 dpi. Dies führt zu einer Abnahme der Anzahl der Bildpunkte in vertikaler und horizontaler Richtung und damit zu einer Verringerung des Datenvolumens. Der Einfluss dieser Datenreduktion auf die Qualität der Bilder wird in der Studie Ia untersucht.

Die Auflösung der Bilder wurde mit Adobe Photoshop 5.0 (Adobe Systems, San Jose, California) verändert. Abbildung 25 zeigt schematisch die Veränderung der Auflösung eines Bildes von 6 x 6 pixel auf 3 x 3 pixel.

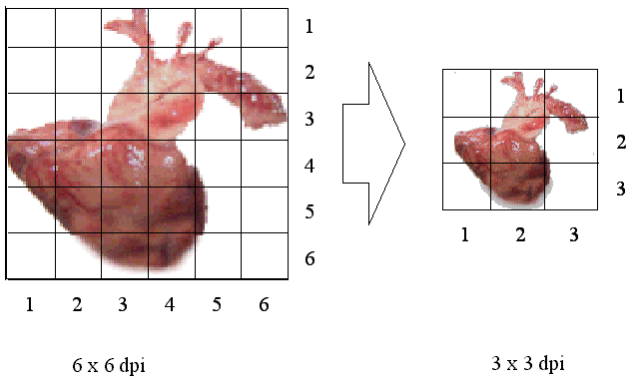


Abb. 25: Schema Auflösungsänderung: Fetales Herz, hypoplastischer Linksherzkomplex, 22. SSW, Ansicht von ventral

Versuchsaufbau

Zur Durchführung der einzelnen Versuchsreihen wurde ein Präparat ausgewählt, welches stellvertretend für makroskopische Organe typische Merkmale aufweist (3D-Objekt, Oberflächenreflexion, typisches Oberflächenrelief etc.). Bei dem gewählten Präparat handelte es sich um ein formalinfixiertes fetales Herz mit hypoplastischem Linksherzkomplex eines altersentsprechend entwickeltem Feten aus der 22. Schwangerschaftswoche.

Die folgenden Abbildungen illustrieren schematisch den Versuchsablauf von der Bildaufnahme bis hin zur Präsentation der Bildpaare.

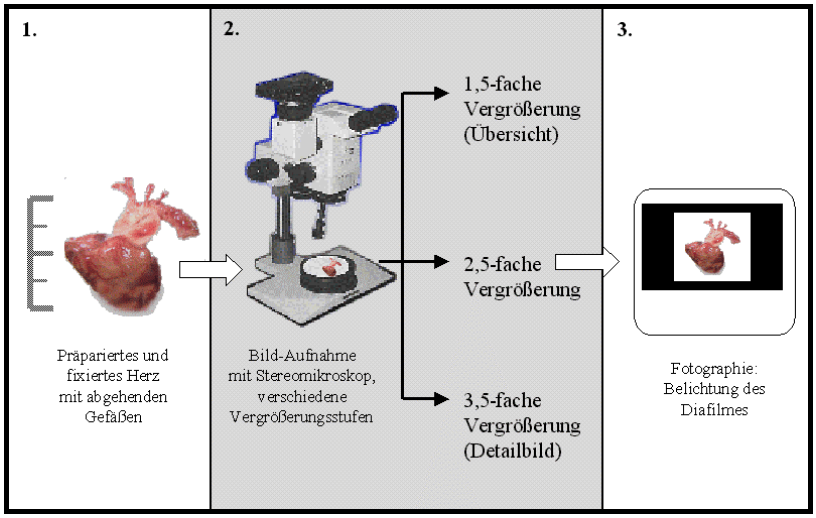


Abb. 26: Versuchsablauf Teil 1:

1. Präparatauswahl und Präparation
2. Bildaufnahme (Übersichtsbild bis Detailaufnahme)
3. Fotographie des stereomikroskopischen Bildes

Die Diabelichtung wurde mit einem Olympus Teleconverter 2X-A vorgenommen. Es erfolgten Aufnahmen bei unterschiedlichen Vergrößerungen, wobei das Übersichtsbild einer 1,5-fachen Vergrößerung entspricht und mit einer 3,5-fachen Vergrößerung ist die höchst mögliche Vergrößerung (Detailbild) erreicht .

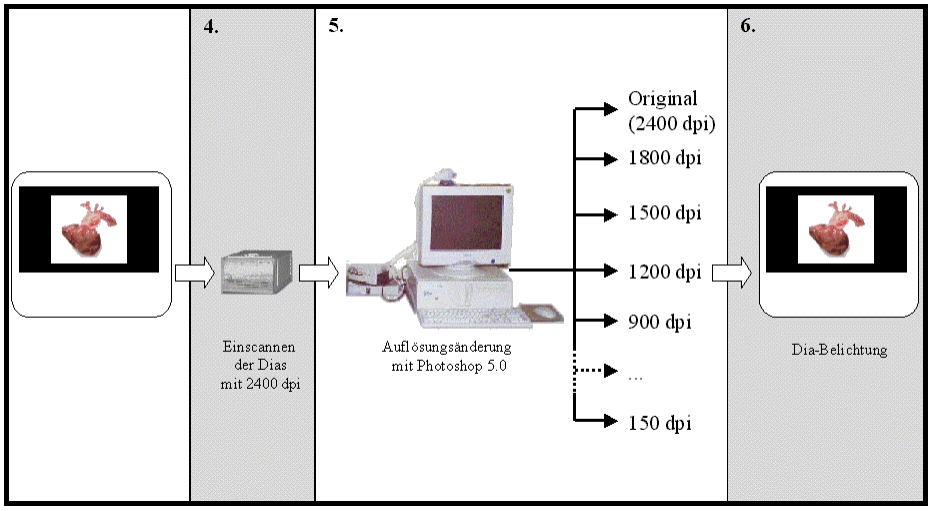


Abb. 27: Versuchsablauf Teil 2:

4. Einscannen der Dias mit 2400 dpi (Mikrotek ScanMaker 35t)
5. Veränderung der Auflösung mit Photoshop 5.0 (2100 bis 150 dpi)
6. Dia-Belichtung

Es entstanden folgende Bilder (24 bit Bilder):

Tab. 11: Übersicht der durch Auflösungsänderung entstandenen Bilder

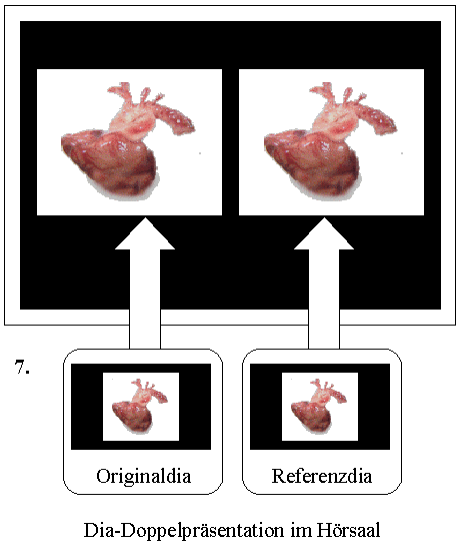
Zoomstufe	**Auflösungsstufen** (dpi)								
1,5-fache Vergrößerung (Übersichtsbild)	2400 (Original)	2100	1800	1500	1200	900	600	300	150
2,5-fache Vergrößerung	2400	2100	1800	1500	1200	900	600	300	150
3,5-fache Vergrößerung (Detailbild)	2400	2100	1800	1500	1200	900	600	300	150

Tabelle 12 stellt die Auflösung der einzelnen Bilder den Bildgrößen (in Pixel und MB) gegenüber.

Tab. 12: Darstellung von Auflösung und Bildgröße

Auflösung (dpi)	**Bildgröße**	
	in Pixel	in MB
2400 (Original)	3072 x 2048	14,7
2100	2687 x 1794	13,3
1800	2303 x 1538	10
1500	1919 x 1281	7
1200	1535 x 1025	4,6
900	1152 x 769	2,6
800	1024 x 683	2
700	896 x 598	1,6
600	768 x 512	1,1
300	384 x 256	295 Kb
150	192 x 128	79 Kb

Diese Bilder wurden im Hörsaal des Institutes für Pathologie den Teilnehmern der Studie präsentiert. Das Originalbild (2400 dpi) und ein Testbild (reduzierte Auflösung) wurden jeweils gleichzeitig projiziert (sogenannte Dia-Doppelpräsentation). Die Bilder der 1,5-fachen Vergrößerung wurden als erstes präsentiert, begonnen wurde dabei mit der Auflösungsstufe 2100 dpi, gefolgt von 1800, 1500 etc. bis hin zu 150 dpi. Danach folgten in gleicher Weise weitere Vergrößerungen (2,5- und 3,5-fach). Die Anordnung von Originalbild und Testbild wurde vor der Präsentation durch Randomisierung festgelegt.



8. Fragebogen

	Linkes Bild ist besser	Beide Bilder sind gleich	Rechtes Bild ist besser
Paar 1			
Paar 2			
Paar 3			
Paar 4			
Paar 5			
Paar 6			
Paar 7			
Paar 8			
Paar 9			
Paar 10			
Paar 11			
Paar 12			
Paar 13			
Paar 14			
Paar x			

Abb. 28: Versuchsablauf Teil 3:

7. Dia-Doppelpräsentation im Hörsaal und Ausfüllen des Fragebogens
8. Auswertung der Fragebögen

Die Dia-Doppelprojektion erfolgte vor insgesamt 20 Teilnehmern (10 Teilnehmer pro Vergrößerung). Diese waren erfahrene Pathologen sowie Personen ohne pathologisches Hintergrundwissen. Das Alter der Teilnehmer lag zwischen 20 und 60 Jahren. Für alle Teilnehmer wurden gleiche Bedingungen geschaffen: der Abstand von der Projektionswand lag bei ca. 4 Metern, der Raum war abgedunkelt, Störgeräusche oder Ähnliches wurden vermieden. Diese Parameter wurden während der Versuche weitgehend konstant gehalten.

Die Versuchsteilnehmer sollten die gleichzeitig präsentierten Bilder bewerten und die Ergebnisse in einen Fragebogen eintragen. Die Auswertung der Fragebögen erfolgte nach Beendigung der Präsentation. Dabei wurden die Ergebnisse in Tabellen eingetragen und waren Grundlage für weitere Analysen.

Die subjektive Schwelle (50-Prozent-Schwelle), die sich aus der Auflösungsstudie ergibt, wird für die anschließende Kompressionsstudie (Studie Ib) verwendet. Diese Schwelle wird wie folgt definiert:

- Mindestens 50% der Teilnehmer müssen das Original sicher vom Testbild unterscheiden können. Sicher heißt hierbei, dass
- bei den folgenden Auflösungsstufen der Anteil der richtigen Antworten ebenfalls mindestens 50% betragen muss.

Im Kapitel 4.1.2 wird nochmals auf die Definition der 50% Schwelle eingegangen.

Bei der Auflösungsstudie im Hörsaal ergaben sich mehrere Probleme (z.B. durch Schwierigkeiten bei der identischen Kalibrierung der Dia-Projektoren und dem unterschiedlichen Blickwinkel der Teilnehmer in der Studie, Interaktion der Teilnehmer während der Untersuchung etc.). Um diese Probleme zu umgehen, wurde eine zweite Auflösungsstudie, diesmal am Monitor unter Verwendung von PowerPoint-Präsentationen durchgeführt. Der methodische Ablauf orientierte sich dabei an der Kompressionsstudie (siehe nächstes Kapitel). Die Untersuchung wurde um zwei Auflösungsstufen erweitert (700 und 800 dpi).

3.3.3. Kompressionsstudie - Studie Ib

Für die Kompression der Bilddaten wurden zwei verschiedene Algorithmen untersucht: das JPEG- und das WAVELET - Verfahren. Beide können verlustarm komprimieren. Sie besitzen jedoch gegenüber verlustfreien Kompressionsmethoden einen entscheidenden

Vorteil: Sie erreichen sehr hohe Kompressionsraten. Dabei kann allerdings die Qualität des komprimierten Bildes durch Bildung von Artefakten entscheidend beeinträchtigt werden. Der Einfluss der Kompression auf die Bildqualität beruht bei allen Kompressionsverfahren bei gleicher Kompressionsrate auf der Bildgröße, dem Bildinhalt, und den einzelnen Frequenzanteilen im vorliegenden Bild (Persons et al. 1997).

Die Kompressionsrate wird als Quotient aus der Dateigröße des Originalbildes und der Dateigröße des komprimierten Bildes definiert:

$$\text{Kompressionsrate} = \frac{\text{Dateigröße des Originals}}{\text{Dateigröße des komprimierten Bildes}}$$

Sie wird mit 1:x angegeben wobei x als Kompressionsfaktor bezeichnet wird.

Für die Versuche wurden die spezifischen Algorithmen der Firma LuraTech Gesellschaft für Luft- und Raumfahrttechnologie & Multimedia mbH Berlin verwendet. Diese Algorithmen sind in die Bildbearbeitungssoftware LuraWave-SmartCompress Version 2.2 integriert. Ein kostenloses Shareware-Program kann über die Webseite von Lurawave bezogen werden, ebenso wie ein Plugin für die Darstellung im Netscape-Navigator (Internet-Browser). Mit dieser Software wurden alle Kompressionen, sowohl für JPEG als auch für WAVELET durchgeführt.

Die JPEG-Komprimierung ist eine der bekanntesten und verbreitetsten Methoden, bei der mit Hilfe einer diskreten Kosinustransformation relativ hohe Kompressionsraten in akzeptabler Qualität erreicht werden (Steinwandt 1994). JPEG bezeichnet eine ganze Familie von Algorithmen zur Kompression digitalisierter Standbilder in Echtfarbqualität und ist seit 1993 unter der Bezeichnung ISO 10918 als Standard festgeschrieben. Mit den JPEG-Verfahren stehen schnell arbeitende Algorithmen zur Verfügung. Diese beruhen auf der diskreten Kosinustransformation, die -kurz gesagt- das Bild in kleine Blöcke unterteilt, dadurch jedoch schon bei niedrigen Kompressionsraten die typischen, deutlich sichtbaren Blockartefakte im Bildmaterial hervorruft (siehe Abb. 29.b) (Persons et al. 1997, Eikelboom et al. 2001).

Abb. 29a: Originalbild

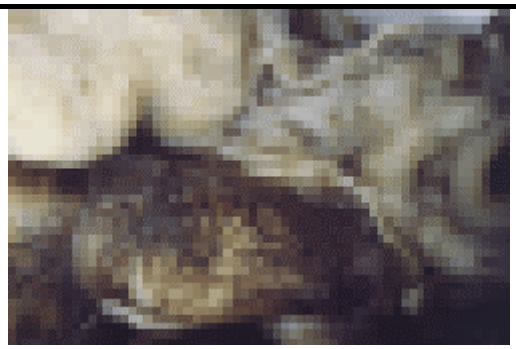


Abb. 29b JPEG-Bild mit typischen Blockartefakten

Mit der WAVELET - Kompression lassen sich sehr hohe Kompressionsraten erzielen (bis zu 1:5000); die benötigten Rechenzeiten sind dabei abhängig von der Leistung des verwendeten Computers (Eikelboom et al. 2001). Momentan existiert noch kein international festgelegter WAVELET - Standard, daher sind zur Zeit sehr viele WAVELET - Algorithmen vorhanden, die allerdings eine individuelle Anpassung an anwenderspezifische Aufgabenstellungen ermöglichen. Jedoch soll die diskrete WAVELET-Transformation (DWT) im JPEG-2000 Standard die aktuelle auf DCT-basierende JPEG-Kompression ablösen (Wang et al. 1999).

Der hier untersuchte Kompressionsalgorithmus verwendet sogenannte Bitplane-Codings, welche die Arbeitsgänge der Bildanalyse per Diskrete WAVELET -Transformation (DWT)

mit der Quantisierung und Codierung der Information vereinen (siehe Abb. 31). DWT hat gegenüber der bei der JPEG-Kompression verwendeten DCT den Vorteil, dass das Bild nicht in kleine Blöcke unterteilt wird, wodurch die JPEG-typischen Blockartefakte vermieden werden (Luratech 2000).

Bei der WAVELET - Kompression wird das Bild sukzessiv in Anteile mit unterschiedlicher Auflösung der einzelnen Bildstrukturen in Hochpass- (feine Details) und Tiefpassanteile (grobe Strukturen) zerlegt. Nach der Transformation werden die einzelnen Bildanteile effektiv codiert, so dass zuerst die Grobdaten des Bildes übertragen werden, gefolgt von weiteren Detailinformationen. Dadurch ist ein schneller Ladevorgang möglich. Bei der WAVELET - Transformation wird der gesamte Bildinhalt analysiert, es besteht aber auch die Möglichkeit, bestimmte Bildbereiche zu definieren und diese gesondert zu analysieren oder in einen anderen Modus zu transformieren (selektive Kompression einzelner Bildbereiche). Die Abbildung 30 zeigt komprimierte Bilder mit für WAVELET typischen Artefakten. (Eikelboom et al. 2001)

Abb. 30a Originalbild

Abb. 30b WAVELET mittlerer Qualität

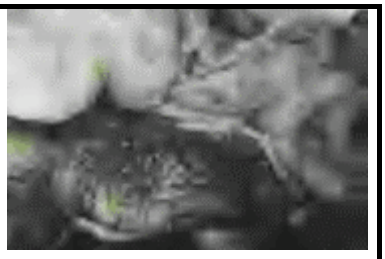


Abb. 30c WAVELET geringster Qualität

In der folgenden Abbildung wird schematisch der Vorgang bei JPEG- und WAVELET-Kompression dargestellt.

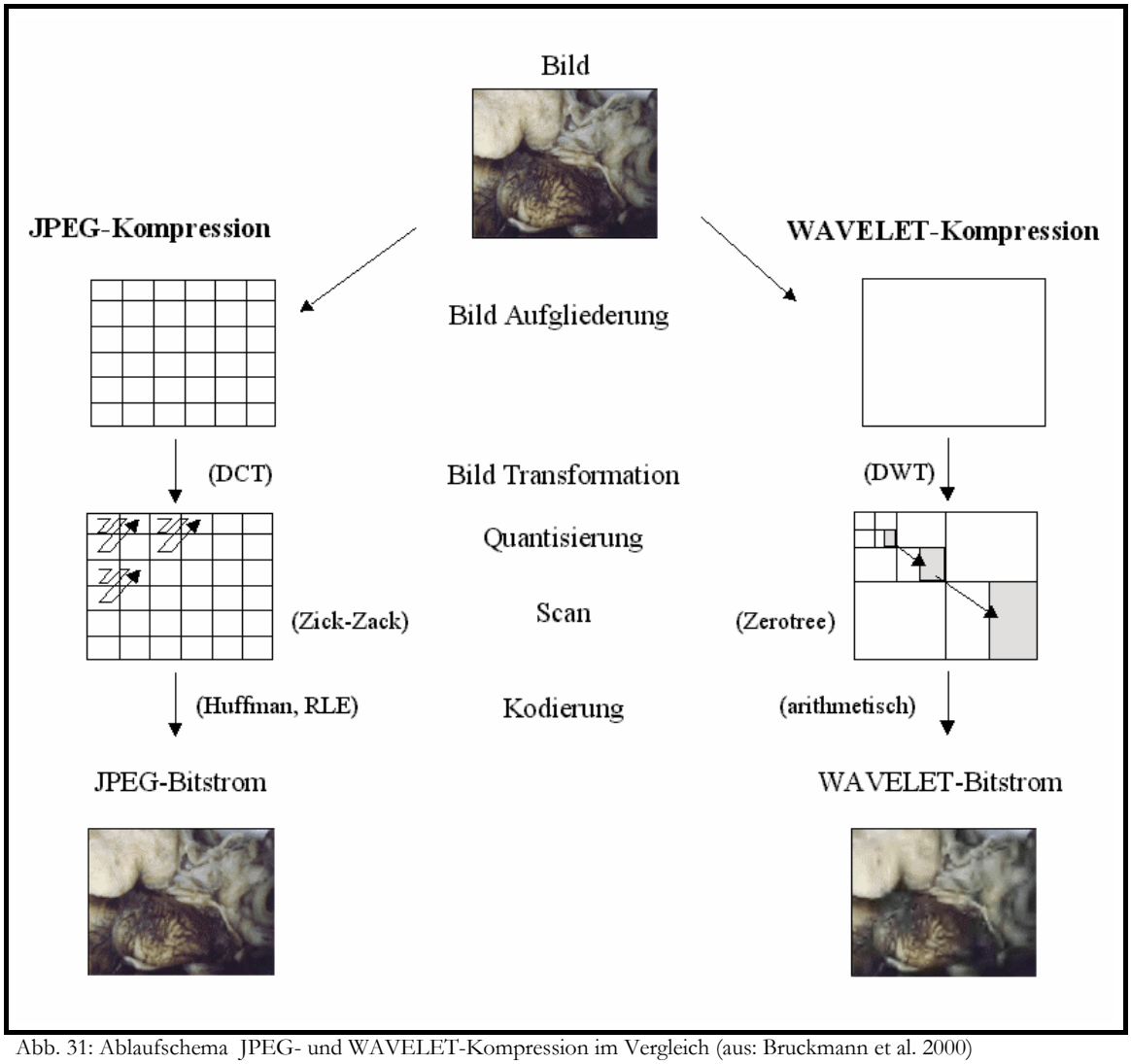


Abb. 31: Ablaufschema JPEG- und WAVELET-Kompression im Vergleich (aus: Bruckmann et al. 2000)

Versuchsaufbau

Die Ergebnisse der Studie Ia zeigten eine konkrete subjektive Schwelle (die 50-Prozent-Schwelle), ab welcher der Einfluss der Auflösungsreduktion sichtbar wurde. Diese Auflösungsstufe wurde als Startwert für die Kompressionsstudie verwendet.

Zur weiteren Verarbeitung wurden die Bilder mit Photoshop 5.0 in das TIFF - Format umgewandelt. Anschließend erfolgte mit LuraWave SmartCompress Version 2.2. die Kompression.

JPEG-Kompression

SmartCompress erlaubt JPEG-Kompressionen in Qualitätsstufen (Q) von 1 bis 100. Q 100 bedeutet sehr gute Qualität des komprimierten Bildes und Q 1 bedeutet höchste Kompression bei sehr schlechter Qualität (SmartCompress 2.2, Professional Edition, 2000).

Für die Untersuchungen wurde das Ausgangsbild auf Grundlage der Qualitätsstufen in Zehnerschritten von Q 1 bis 100 (1, 10, 20, ... , 100) komprimiert, dabei entstanden Bilder mit folgenden Dateigrößen:

Tab. 13: JPEG komprimierte Bilder

Qualitätsstufe (JPEG)	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Dateigröße (Kb)	27	32	42	46	57	66	77	92	115	250	860
Kompressionsrate	1:170	1:140	1:110	1:100	1:80	1:70	1:60	1:50	1:40	1:20	1:5

WAVELET-Kompression

SmartCompress erlaubt WAVELET – Kompressionen für unterschiedliche Anforderungen. So kann sowohl nach Qualitätsstufen (1 bis 100), nach Kompressionsraten (1:1 bis 1:1000) als auch nach der zu erzielenden Dateigröße komprimiert werden.

Für den Vergleich der Kompressionsmethoden (JPEG vs. WAVELET) wurden die WAVELET-Bilder mit zwei verschiedenen Zielstellungen erzeugt:

1. Nach der Qualitätsstufe: Ziel war der Vergleich der Qualitätsstufen von JPEG und WAVELET

2. Nach Dateigröße: Ziel der Kompression war das Erstellen von Bildern gleicher Dateigröße (und damit gleicher Kompressionsrate) wie bei der JPEG-Kompression, d.h. die Dateigröße der WAVELET-Bilder sollte der Grösse der JPEG-Bilder entsprechen, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen.

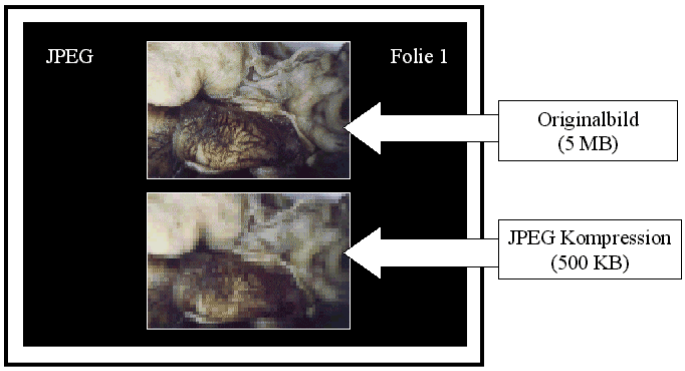
Tab. 14: WAVELET komprimierte Bilder

Qualitätsstufe (WAVELET)*	1	10	20	30	40	50	60	70	80	*	*	*	*	*	*	*	*	90	*	*	100
Dateigröße (Kb)	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	8	24	27	32	42	46	57	66	77	92	115	250	860	900
Kompressionsrate	1:5750	1:4600	1:3833	1:3066	1:2300	1:1533	1:1150	1:580	1:190	1:170	1:140	1:110	1:100	1:80	1:70	1:60	1:50	1:40	1:20	1:5	1:5

** wenn kein Eintrag in der Spalte Qualitätsstufe vorliegt, wurde nach der Dateigröße komprimiert*

Die so entstandenen Kompressionsbilder (insgesamt 11 JPEG- und 21 WAVELET – Bilder pro Vergrößerung) wurden in PowerPoint-Präsentationen eingearbeitet und ähnlich angeordnet, wie die Dias bei der Präsentation im Hörsaal. Die Bildreihe der 1,5-fachen Vergrößerung wurde zuerst gezeigt und begonnen wurde mit dem Bild mit der niedrigsten Kompression. Die Anordnung von Originalbild und Testbild wurde wiederum ad libitum festgelegt.

Doppelpräsentation am Monitor



Fragebogen

	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4	Folie 5	Folie 6	Folie 7	Folie x
Oberes Bild ist besser								
Beide Bilder sind gleich								
Unteres Bild ist besser								

Abb. 32: PowerPoint Präsentation der Kompressionsreihen

Die Darstellung der PowerPoint-Präsentationen erfolgte an einem 21“ Monitor mit einer Auflösung von 1600 x 1200 dpi und einer Bildwiederholfrequenz von 85 Hz. Die beiden präsentierten Bilder (Original und Testbild) wurden mit einer Größe von 13 cm (Höhe) x 20 cm (Breite) dargestellt.

Es beteiligten sich insgesamt 30 Teilnehmer (20 Teilnehmer pro Kompressionsreihe). Dies waren 7 Pathologen, von denen zwei älter als 40 Jahre waren, und Personen ohne pathologisches Hintergrundwissen. Das Alter der Teilnehmer lag zwischen 20 und 60 Jahren.

Für alle Teilnehmer wurden gleiche Bedingungen geschaffen: gleicher Monitor ohne Veränderung der Einstellungen und gleichbleibende Umfeldbedingungen. Der Abstand zum Monitor variierte individuell zwischen 30 und 50 cm.

Die Versuchsteilnehmer sollten wieder die gleichzeitig präsentierten Bilder bewerten und die Ergebnisse in einen Fragebogen eintragen (siehe Abb. 32). Die Auswertung der Fragebögen erfolgte nach der Präsentation. Die Ergebnisse wurden in Tabellen eingetragen und waren Grundlage für weitere Berechnungen.

3.3.4. Objektive Kriterien für die Bildqualität

Für die exakte Analyse der Einflüsse auf die Qualität der Bilder (Änderung der Auflösung, Kompression), ist es notwendig objektive Kriterien heranzuziehen (Brennecke et al. 2000). Der anschließende Vergleich soll eine mögliche Korrelation zwischen objektiven und subjektiven Ergebnissen anzeigen.

Für die objektive Beurteilung des Qualitätsunterschiedes zwischen Original und komprimiertem Bild wird das Spitzenwert-Signal-Rausch-Verhältnis (Peak signal to noise ratio = PSNR) herangezogen. Dieser Wert beschreibt -einfach ausgedrückt- die Differenz der Bildmatrix von Originalbild und reduziertem Referenzbild. Dabei ist es wichtig, dass beide Bilder die gleiche Auflösung (identische Breite und Höhe) besitzen. Das ergibt sich aus den folgenden Termen:

Maximaler absoluter Fehler (MAE) $$\max\left|f(x,y)-\tilde{f}(x,y)\right| \quad (1)$$

Mittlerer quadratischer Fehler (MSE) $$\frac{1}{N\cdot M}\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left[f(x_i,y_j)-\tilde{f}(x_i,y_j)\right]^2 \quad (2)$$

Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMS) $$\sqrt{MSE} \quad (3)$$

Signal-Rausch Verhältnis (SNR) $$10\log\left(\frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}f(x_i,y_j)^2}{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left[f(x_i,y_j)-\tilde{f}(x_i,y_j)\right]^2}\right) \quad (4)$$

Spitzenwert-Signal-Rausch-Verhältnis (PSNR) $$20\log\left(\frac{255}{RMS}\right) \quad (5)$$

Die Bildmatrizen der zu vergleichenden Bilder werden Pixel für Pixel untersucht. Ein Pixel der Matrix des Originalbildes wird mit dem adäquaten Pixel des Referenzbildes verglichen.

Die Einheit des PSNR-Wertes ist Dezibel (dB). Der PSNR-Wert dient der objektiven Messung der Qualitätsverluste bei verlustbehafteten Kompressionen. Hohe Werte stehen für einen geringen Unterschied zwischen Original und komprimiertem Bild, also für eine Kompression mit geringem Qualitätsverlust.

Für die objektive Analyse des Einflusses der Auflösungsreduktion gibt es keinen Qualitätsparameter. Die PSNR eignet sich nicht für die Beurteilung der Bilder bei der Auflösungsstudie, da Originalbild und Referenzbild in der Anzahl der Pixel verschieden sind, wodurch die Berechnung der PSNR nicht möglich ist.

3.4. Fallstudien zum praktischen Einsatz der Telepathologie

Die vorliegende Untersuchung des Einsatzes telemedizinischer Techniken in der Routine der Fetalpathologie beschränkt sich auf zwei Gebiete:

- Online-Konsultation eines erfahrenen Kinderpathologen während der Sektion und
- Offline-Konsultation von Experten nach der Autopsie.

3.4.1. Autopsiestudie zur Evaluation der Telepathologie (online) - Studie II

Für diese Untersuchung wurden 10 Routinefälle des Institutes für Pathologie der Charité benutzt(Tab. 15).

Tab. 15: Autopsiefälle eines Monats (sequentiell der Routine entnommen)

Fall-Nr.	Diagnose	SSW
1	Schwere Wachstumsretardierung	26.
2	Trisomie 18	34.
3	Trisomie 21	23.
4	Spontanabort, Zustand nach vorzeitigem Blasensprung	23.
5	Makrozephalie, Ventrikelseptumdefekt, Pulmonalklappenstenose	23.
6	Trisomie 18	15.
7	Reno-hepato-pankreatische Dysplasie/ Ivemark-Syndrom	21.
8	Truncus arteriosus communis (Typ I), Hygroma colli	19.
9	Omphalozele, Zwerchfelldefekt, Lungenhypoplasie links, Ventrikelseptumdefekt	21.
10	Triploidie	15.

Abkürzungen: SSW - Schwangerschaftswoche

Bei dieser Studie ging es primär um die Analyse der Routinetauglichkeit telepathologischer Methoden.

Die Fetalsektionen wurden von einem wenig erfahrenen Assistenzarzt und einem technischen Assistenten durchgeführt. Ein erfahrener Kinderpathologe war per Telekonferenz zugeschaltet. Alle Arbeitsschritte (Fallannahme, Fallpräsentation, Sektion etc.) wurden mit dem konsultierten Kollegen besprochen. Dieser konnte somit die gesamte Sektion telepathologisch verfolgen.

Im Zentrum der Studie stand die Analyse der Routinetauglichkeit dieser Form der telepathologischen Qualitätssicherung bei der Sektion eines Feten.

3.4.2. Herzstudie zur Evaluation der Telepathologie (offline) - Studie III

Für die Offline-Konsultation wurden 10 Fälle aus den Jahren 1996-2000 mit komplexen Herzfehlbildungen herausgesucht. Die Auswahl unterstützte ein Experte für Herzfehlbildungen und ein erfahrener Kinderpathologe. Die Befunde der einzelnen Fälle sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tab. 16: Fälle mit komplizierten Herzfehlbildungen

Fall-Nr.	Herzfehlbildung	Extrakardiale Fehl-bildung/ Stigmata	Chromosomale Anomalie	SSW/ Alter
1	**Unterbrochener Aortenbogen („Typ B"),** perimembranöser Ventrikelseptumdefekt	Dysmorphiezeichen, Thymusaplasie	Mikrodeletion 22q11.2	22
2	**Atrioventrikularseptumdefekt (Rastelli Typ a), Atriumseptumdefekt vom Ostium-secundum-Typ (II)**	Dysmorphiezeichen	47, XY,+21	23
3	**Double outlet right ventricle,** perimembranöser	Keine	Keine	22

	Ventrikelseptumdefekt, muskulärer Ventrikelseptumdefekt			
4	**Double outlet right ventricle,** perimembranöser Ventrikelseptumdefekt	Dysmorphiezeichen	47, XY,+18	24
5	**Komplette Transposition der großen Arterien,** perimembranöser Ventrikelseptumdefekt	Keine	Keine	22
6	**Fallotsche Tetralogie,** Agenesie des Ductus arteriosus, rechts verlaufender Aortenbogen, perimembranöser Ventrikelseptumdefekt	Dysmorphiezeichen, Thymusaplasie	Mikrodeletion 22q11.2	21
7	**Komplette Transposition der großen Arterien,** Pulmonalatresie, perimembranöser Ventrikelseptumdefekt	Dysmorphiezeichen, Lungenhypoplasie, Lippen-Kiefer-Spalte	47, XY, +13	22
8	**Hypoplastischer Linksherzkomplex,** Aortenatresie, Mitralstenose mit Klappendysplasie	Keine	Keine	22
9	**Hypoplastischer Linksherzkomplex,** Aortenatresie, Mitralstenose, linksventrikuläre Endokardfibroelastose	Keine	Keine	Lebend-geboren 3 Tage alt
10	**Aortenklappenstenose,** dilatierter linker Ventrikel, linksventrikuläre Endokardfibroelastose	Keine	Keine	22

Abkürzungen: SSW – Schwangerschaftswoche

Die Herzen lagen bereits präpariert und fixiert vor. Die jeweiligen Fehlbildungen wurden mit dem Stereomikroskop und der angeschlossenen CCD-Kamera digitalisiert und abgespeichert. Anschließend erfolgte die Aufbereitung der Falldaten und Bilder in Form von PowerPoint-Präsentationen (siehe Abb. 33-36). Alle Dateien (eine Datei entspricht einem Fall) wiesen eine einheitliche Struktur auf:

1. **Deckblatt**: mit Absender, Empfänger, Fallnummer und Fallanfrage (Abb. 33)
2. **Übersicht**: mit Falldaten im Detail, klinische Angaben, Autopsiebefunde, Arbeitsdiagnose, Herzprotokoll und Bildübersicht (Abb. 34)
3. **Bildbefunde**: mit Falldaten, Einzelbild mit Beschriftung und zusätzlichen Angaben (Maße, Befunde etc.), bildspezifische Fragestellungen, Antwortmöglichkeit für den Experten (Abb. 35)
4. **Zweite Meinung**: mit Falldaten, Formularfelder für den Experten mit Bereich für Zweite Meinung, Differentialdiagnose und eventuelle Rückfragen
5. **Abkürzungsverzeichnis** der verwendeten Abkürzungen (Abb. 36)
6. **Tabelle mit Normmaßen** für Körpergewicht, Schwangerschaftswoche, Herzgewicht entsprechend der Schwangerschaftswoche

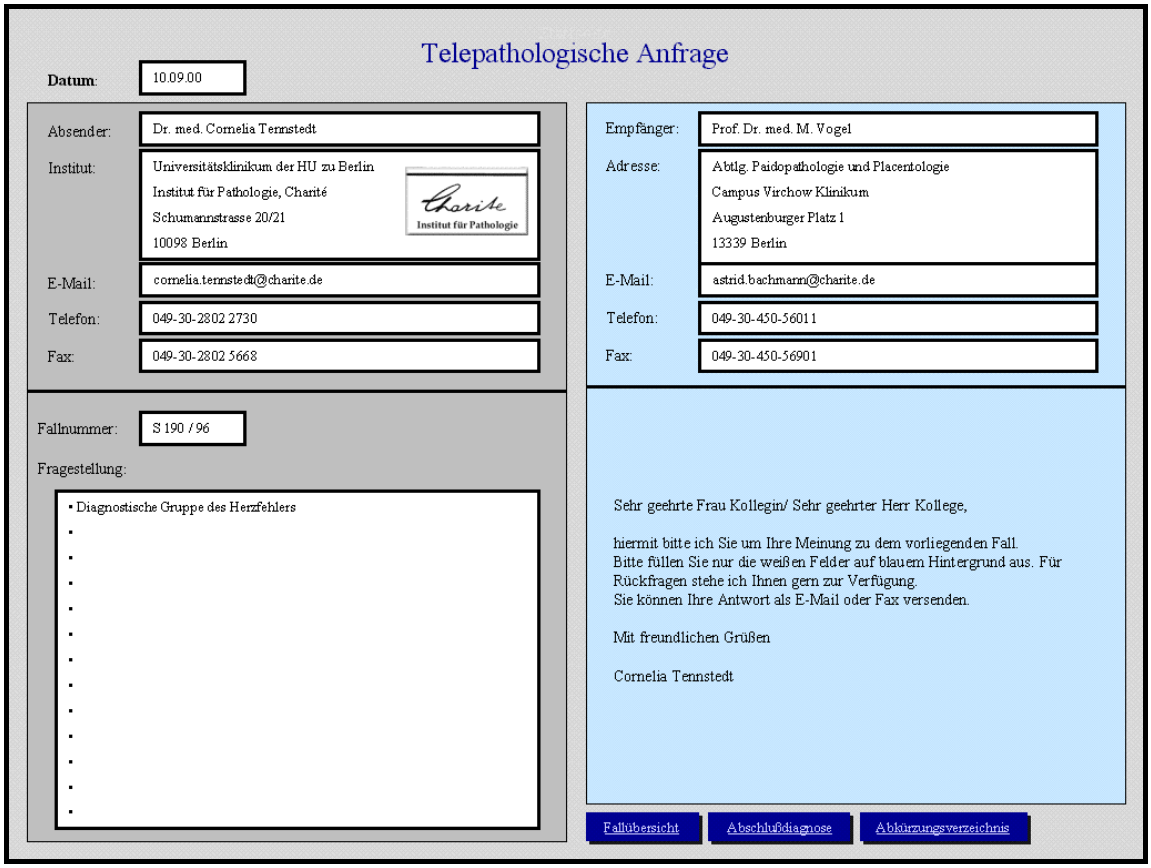


Abb. 33: Screenshot Fall 5: Startseite

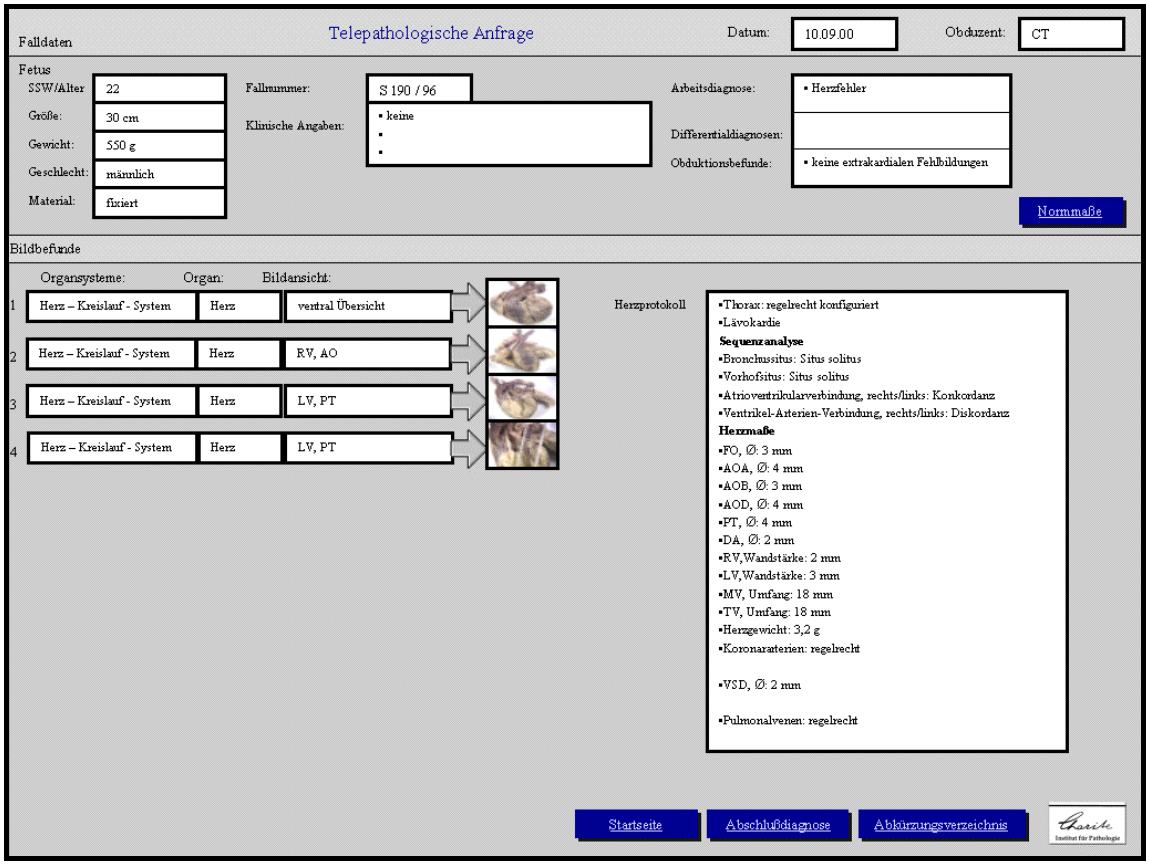


Abb. 34: Screenshot Fall 5: Übersicht (2. Seite)

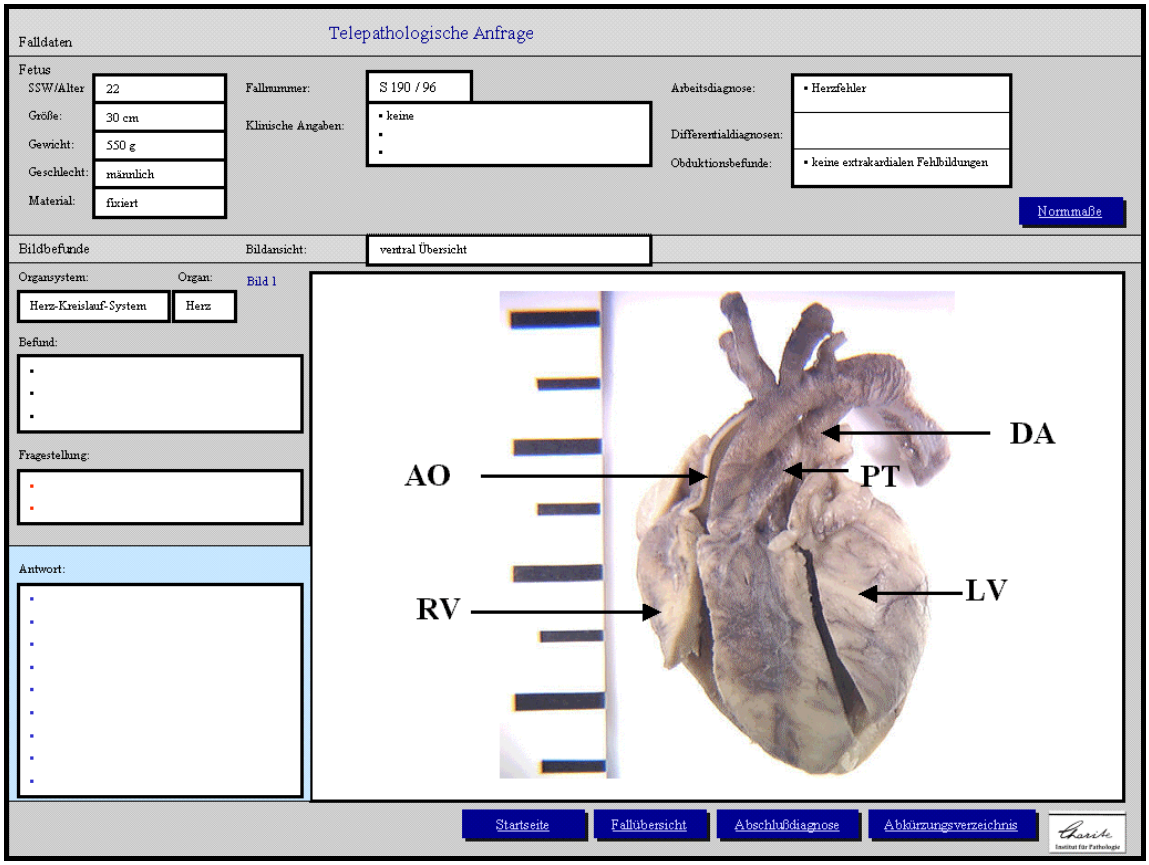


Abb. 35: Screenshot Fall 5: Bildbefund mit Falldaten

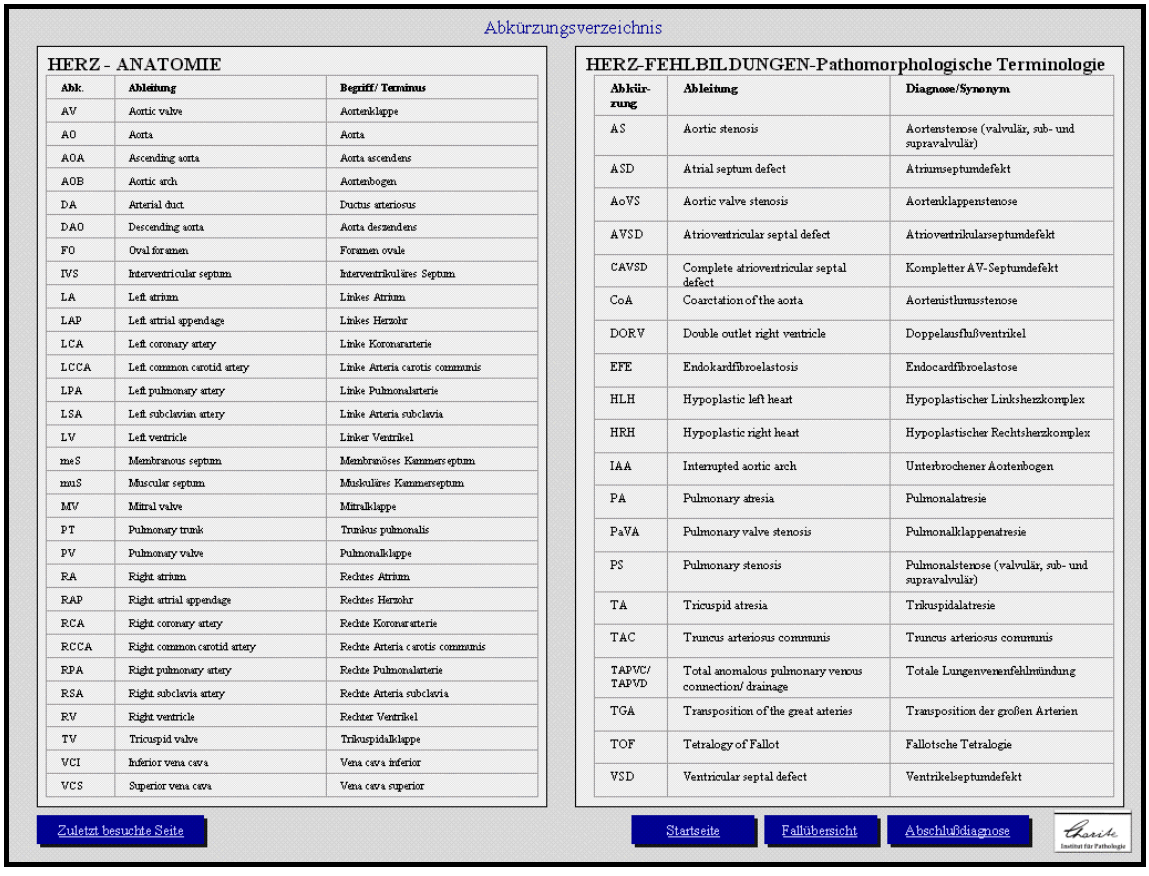


Abb. 36: Screenshot: Abkürzungsverzeichnis

Die so aufbereiteten Fälle wurden zusammen mit einer Anleitung zur Bearbeitung der Dateien und einem Fragebogen als E-Mail versandt.

Die Anleitung (etwa 2-3 Seiten) enthielt eine kurze Erläuterung des Zieles der Studie und eine knappe sowie eine ausführliche Anleitung zur Bearbeitung der Dateien. Der beigefügte Fragebogen diente der Erfassung von Problemen. So wurde z.B. erfragt, ob die übertragenen Informationen ausreichend waren.

Pro E-Mail wurden jeweils 2 Fälle versandt. Insgesamt wurden jeweils 5 E-Mails an 5 Kinderpathologen in Europa verschickt (Deutschland, Österreich, Niederlande und England).

4 Ergebnisse

Der erste Teil dieses Abschnittes stellt die Ergebnisse der Bildqualitätstudien vor. Dabei werden die Resultate der Auflösungs- und Kompressionsstudie übersichtlich in Tabellenform präsentiert und näher erläutert. Im zweiten Teil werden die Ergebnisse der Analyse beim Routineeinsatz der Telepathologie dargestellt.

4.1. Anforderungen an die Bildqualität

4.1.1. Einflussfaktoren auf die Bildqualität

Im Folgenden werden die Analyseergebnisse der einzelnen Einflussfaktoren im Verlauf des Bildverarbeitungsprozesses dargestellt. (Vergleiche mit Abschnitt 3.3)

Aufnahme

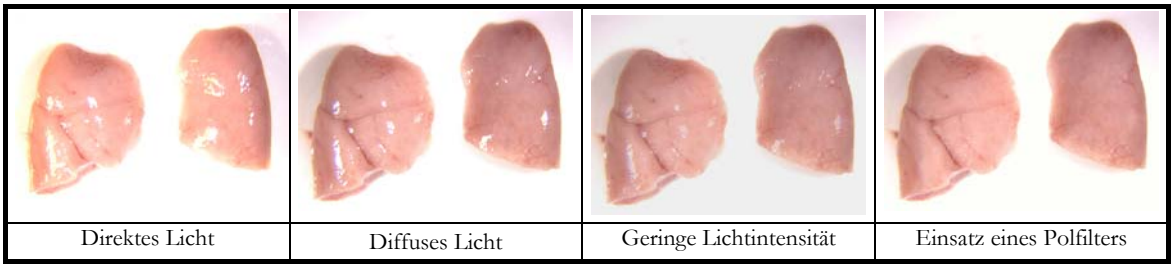
Die Einflussgrößen bei der Bildaufnahme kann man unterteilen in beeinflussbare und nicht beeinflussbare Größen. Diese können sich darüber hinaus gegenseitig beeinträchtigen. Beispielsweise sind die Einstellungsmöglichkeiten der einzelnen Geräte abhängig von deren Eigenschaften. Art und der Zustand eines Präparates beeinflussen die Oberflächenstruktur.

Tab. 17: Überblick über die Technik und das Material bei der Aufnahme makroskopischer Bilder

Beeinflussbarkeit	Technik	Material
beeinflussbar	Beleuchtung: Köhlersche Beleuchtung beim Mikroskop, Abschattungsfrei beim Makroskop, Helligkeit / Leuchtstärke Geräteeinstellung: Zoom, Fokus	Zustand des Präparates: Nativ-frisch, Nativ-autolytisch, Fixiert
nicht beeinflussbar	Geräteeigenschaften von: Makroskop, Stereomikroskop, Kamera	Form und Größe: des Organes Oberfläche: Eben/unregelmäßig, Spiegelnd/stumpf, Transparent

Wichtig für die Beleuchtung des Präparates ist neben der Raumbeleuchtung die direkte Beleuchtung des Präparates. Das verwendete Stereomikroskop erlaubt eine variable Anordnung der Leuchtstrahler, sowie eine Anpassung der Lichtintensität an die Größe und Form des Präparates. Dadurch wird eine individuelle Be- und insbesondere Ausleuchtung ermöglicht. Beim Makroskop kann nur die Lichtintensität reguliert werden.

Folgende Abbildungen zeigen einzelne Organe unter dem Stereomikroskop zum Vergleich bei verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen. Das diffuse Licht wurde durch den Aufsatz von Speziallinsen auf die Leuchtstrahler erreicht. Der Einsatz eines Polfilters erlaubt in gewissen Grenzen die Reduktion von Glanzlichtern (Reflexionen), soll hier aber nur als Beispiel aufgeführt werden, da seine Verwendung relativ aufwendig und für den Routineeinsatz nicht geeignet ist.



Direktes Licht	Diffuses Licht	Geringe Lichtintensität	Einsatz eines Polfilters

Abb. 37: Verschiedene Beleuchtungsverhältnisse (Fetale Lunge, 22. SSW)

Jedes Organ weist spezifische Oberflächeneigenschaften auf, z.B. Organe mit spiegelnder Serosa im Vergleich zur relativ stumpfen Haut. Die Oberflächeneigenschaften können sich

bei längerer nativer Lagerung durch Austrocknung oder im Rahmen der Fixation ändern. Die folgenden Abbildungen zeigen einzelne Organe im nativem, nicht-autolytischem Zustand.

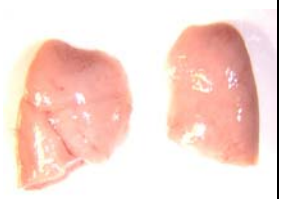
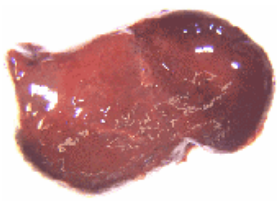
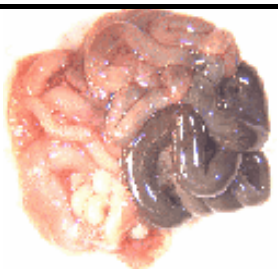
			
Lungen beidseits	Leber	Darmpaket	Nebenniere (NN) und Niere (rechts)

Abb. 38: Reflexionsverhalten nativer innerer Organe I

Es ist deutlich erkennbar, dass native innere Organe - durch ihre feuchte Oberfläche - grelle Spiegelartefakte verursachen, welche die Einschätzung des Organs und somit die Diagnostik erschweren.

Nach der Fixation zeigten sich die folgenden Veränderungen: das Präparat wurde dunkler, die Farbdarstellung veränderte sich (gräuliche Verfärbung) und das Reflexionsverhalten wurde geringer (stumpf erscheinende Oberfläche). In gleicher Weise änderte sich die Konsistenz der Organe durch veränderte Struktureigenschaften. Die einzelnen Organe ließen sich besser positionieren und fielen weniger in sich zusammen, bedingt durch eine erhöhte innere Stabilität.

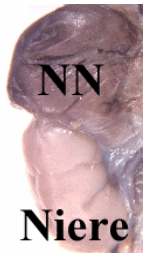
			
Lungen beidseits	Leber	Darmpaket	Nebenniere (NN) und Niere (rechts)

Abb. 39: Reflexionsverhalten fixierter Organe II

Aus diesen Abbildungen wird deutlich, wie der Zustand der Präparate die Bildqualität beeinflusst. Bilder von fixierten Organen weisen weniger Glanzlichter auf als Bilder von frischen, nativen Organen.

Datenreduktion

Die Reduktion des Datenumfanges der Bilder wurde einerseits durch eine Herabsetzung der Auflösung (Studie Ia) und andererseits durch Kompression (Studie Ib) erreicht. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 4.1.2. und 4.1.3 ausführlich dargestellt.

Bei der Übertragung der Bilder traten keine Komplikationen auf. Die Bildqualität hat sich durch den Übertragungsmodus nicht verändert. Jedoch wurde der Bildaufbau zu großen Teilen von der jeweiligen Bildgröße und der aktuellen Netzauslastung bestimmt. Bei Videosequenzen kam es oftmals zu Verzögerungen und bei statischen Bildern zu einem diskontinuierlichem Bildaufbau.

Darstellung

Bei der Einschätzung der Bildqualität am Monitor ergab sich, dass je nach Monitorgröße eine entsprechende Bildschirmeinstellung gewählt werden sollte, abhängig von der verwendeten Grafikkarte (Tab. 18).

Tab. 18: Monitorgröße und empfohlene Bildschirmeinstellung

Monitorgröße	Minimale Bildschirmeinstellung	Empfohlene Bildschirmeinstellung*
14 Zoll	640 x 480	800 x 600
15 Zoll	800 x 600	1024 x 768
17 Zoll	800 x 600	1024 x 768
19 Zoll	1024 x 768	1280 x 1024
21 Zoll	1024 x 768	1600 x 1200

*Diese Angaben sind Empfehlungen zur optimalen Einstellung des Monitors. Sie sind jedoch abhängig von der Leistung der verwendeten Grafikkarte. Ebenso die Wahl der Bildwiederholfrequenz. Eine hohe Bildwiederholfrequenz reduziert das Flimmern und senkt somit die Belastung der Augen. Die Farbtiefe sollte zwischen 16 bpp (65.000 Farben) und 24 bpp (16,7 Millionen Farben) liegen, damit eine optimale Darstellung der Bilder für eine exakte Diagnostik gewährleistet wird (aus Benutzerhandbuch Version 2.0 mach 64 ATI Technologies Inc. 1995).
Die Standardeinstellungen des Monitors, beispielsweise Farbmuster, geometrische Verzerrungen, Helligkeit und Kontrast etc. können ohne Veränderung beibehalten oder individuell angepasst werden. Inwieweit sich die Art der Bildröhre, Loch- oder Schlitzmaske auf die Bildqualität auswirkt wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

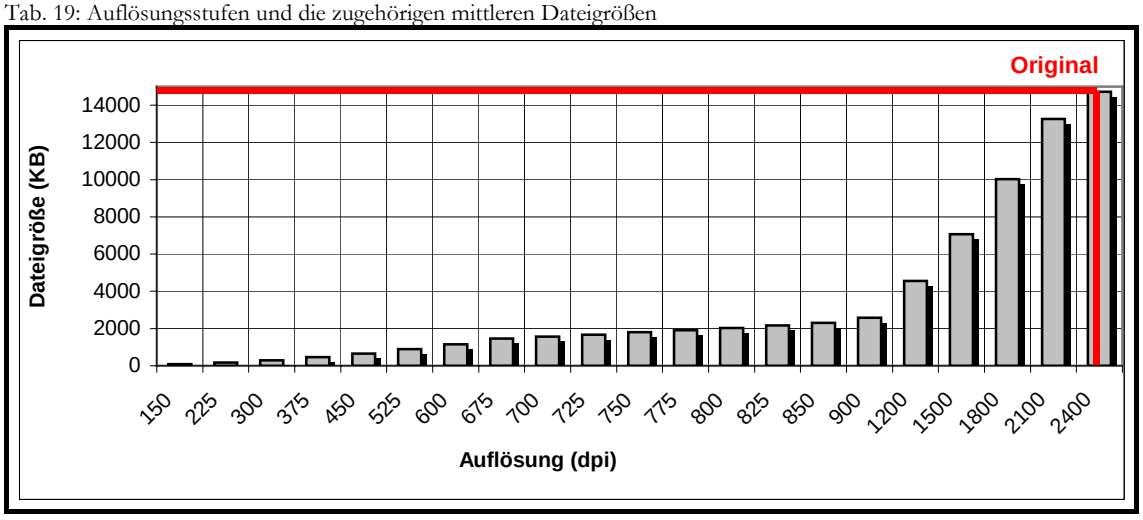
4.1.2. Ergebnisse der Auflösungsstudie - Studie Ia

Der folgende Abschnitt zeigt den Einfluss der Auflösung auf die Bildqualität und die Dateigröße. Die Ergebnisse der Auflösungsstudie werden grafisch dargestellt. Dabei werden die subjektive Stufe und die individuelle Schwelle definiert. Die Dia-Doppelpräsentation im Hörsaal wird mit der PowerPoint-Präsentation am Monitor verglichen.

Änderung der Auflösung – Änderung der Dateigröße

Bei der Untersuchung des Einflusses der Auflösungsänderung auf die Bildqualität zeigte sich, dass die Verminderung der Pixelanzahl, das Datenvolumen reduziert (siehe Tab. 19). Bereits bei der Reduktion der Bildpunkte um die Hälfte, sinkt das Datenvolumen um zwei Drittel, also auf 30% der Ausgangsgröße. Das entspricht einer Reduktionsrate von 1:3.

Tab. 19: Auflösungsstufen und die zugehörigen mittleren Dateigrößen



Die Größe des Originalbildes (Auflösung = 2400 dpi) beträgt etwa 15 MB, für die Übertragung des unkomprimierten Bildes via ISDN würde man mit 4 gekoppelten Kanälen (256 KBps) etwa 30 Minuten benötigen. Bereits ab einer Auflösung von 1200 dpi (50% der Ausgangsauflösung) besitzt dieses Bild nur noch 30% der Ursprungsgröße und die Übertragungszeit würde dann etwa 8 Minuten betragen.

Auswertung der Fragebögen

Die Fragebögen wurden bewertet und die einzelnen Ergebnisse in Tabellen eingetragen. Dabei wurden die Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer bewertet (Individuelle Schwelle) und die Antworten aller Teilnehmer summiert und das prozentuale Verhältnis berechnet

(Summation). Daraus ergeben sich zwei Darstellungsarten: Individuelle Schwelle und Summationsgrafik.

In den folgenden Abbildungen werden alle präsentierten Auflösungsstufen dargestellt. Die **Summationsgrafik** (Abb. 40) zeigt das prozentuale Verhältnis der einzelnen Antworten bei jedem präsentierten Bildpaar: d. h. die Größe

- des grünen Balkens repräsentiert den Prozentsatz richtiger Antworten,
- des gelben Balkens zeigt prozentual an, wie oft das Original nicht vom Testbild unterschieden werden konnte
- des roten Balkens stellt den Prozentsatz falscher Antworten dar.

Zusätzlich ist in den Summationsgrafiken die 50-Prozent-Schwelle (Definition siehe Kapitel 3.3.2) dick eingezeichnet.

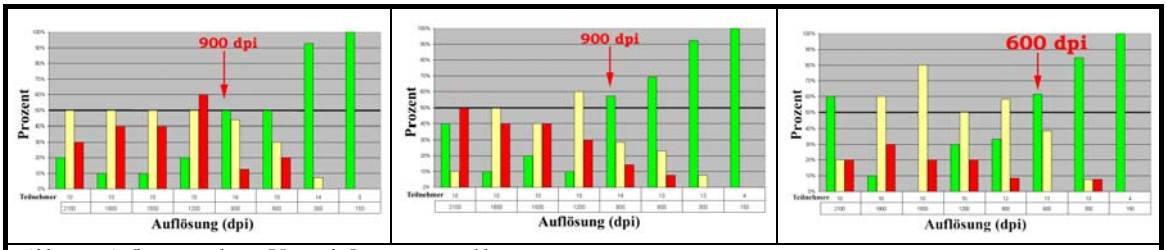


Abb. 40: Auflösungsstudie im Hörsaal, Summationsgrafik
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Bei der **Auflösungsstudie im Hörsaal** haben pro Versuchsreihe 10 Personen teilgenommen. Die Hörsaalstudie dauerte für 8 Dia-Paare ca. 15 min Die 50-Prozent-Schwelle wird laut Definition (siehe Kapitel 3.3.2.) bei 900 dpi in der 1,5- und der 2,5-fachen Vergrößerung, sowie bei 600 dpi bei der 3,5-fachen Vergrößerung festgelegt.

Bei der Auflösungsstudie im Hörsaal ergaben sich mehrere Probleme bei der Präsentation:

- Die automatische Fokussierung des Dia-Projektors erforderte eine manuelle Nachkorrektur.
- Der manuelle Wechsel der einzelnen Dias verzögerte den Versuchsablauf erheblich.
- Dadurch wurden pro Versuchsreihe mit je 8 Bildern 15 Minuten benötigt.
- Das führte wiederum zur Abnahme der Konzentration bei den Teilnehmern gegen Ende des Versuchszeitraumes.
- Innerhalb der Teilnehmer kam es während der Versuche zu einem sogenannten „Gruppendruck“, d.h. schnelle Teilnehmer signalisierten dies dem Versuchsleiter, wodurch langsamere Teilnehmer möglicherweise zu schnellerem Antworten gedrängt wurden.

Um diese Probleme zu vermeiden, wurde die Auflösungsstudie als PowerPoint-Präsentation am Monitor wiederholt. Dabei zeigten sich folgende Vorteile:

- Es gab keine negativen Einflüsse durch fehlerhaft kalibrierte Dia-Projektoren.
- Ein manueller Wechsel der Dias war nicht erforderlich, da eine einmalig vorbereitete PowerPoint-Präsentation als Datei genügte.
- Dadurch wurden pro Ebene mit 9 Bildpaaren nur 5 Minuten benötigt (individuelle Schwankung zwischen 2-10 min).
- Jeder Proband konnte das Tempo selbst bestimmen, es gab somit keinen Gruppendruck.
- Individuelle Fragen (z.B. bezogen auf das Präparat) konnten schnell geklärt werden.

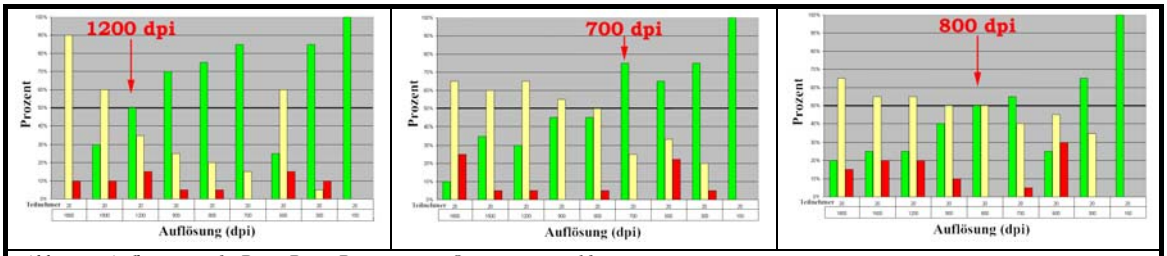


Abb. 41: Auflösungsstudie PowerPoint-Präsentation, Summationsgrafik
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Bei der **Auflösungsstudie am Monitor** haben sich 20 Personen beteiligt. Die Auflösungsstudie am Monitor dauerte pro Reihe mit je 9 Bildpaaren ca. 5 Minuten (individuelle Schwankung zwischen 2 bis 10 min). Die 50-Prozent-Schwelle wird laut Definition bei 1200 dpi bei der 1,5-fachen, bei 700 dpi bei der 2,5-fachen und bei 800 dpi bei der 3,5-fachen Vergrößerung festgelegt.

Die Grafik (Abb. 42) der **Individuellen Schwelle (IS)** zeigt das Verhältnis zwischen Dateigröße des reduzierten Bildes und der Auflösung als Qualitätskriterium. Die roten Balken stehen für die Anzahl der Teilnehmer, die ab dieser Stufe das Original bei allen folgenden Bildpaaren erkannt haben. Die blauen Sterne innerhalb der roten Balken stehen jeweils für einen Pathologen. So kann man sehr schnell erkennen, in welchem Bereich die individuellen Schwellen der Pathologen liegen.

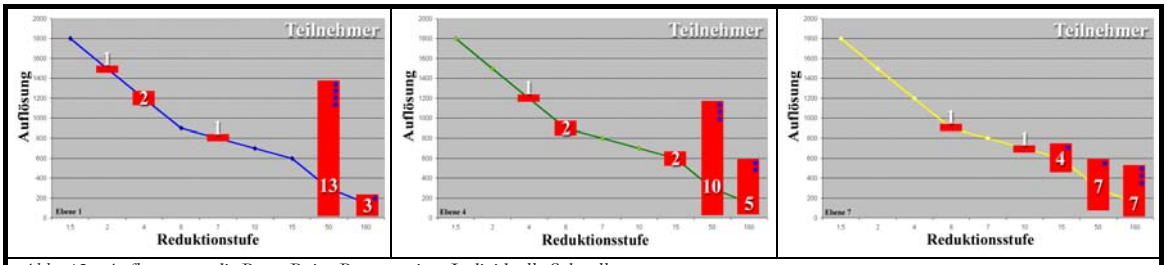


Abb. 42: Auflösungsstudie PowerPoint-Präsentation, Individuelle Schwellen
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Unter den 20 Teilnehmern waren 5 Pathologen. Zwei von ihnen waren älter als 40 Jahre. Von den restlichen 15 Teilnehmern waren ebenfalls 2 Personen älter als 40 Jahre.

4.1.3. Ergebnisse der Kompressionsstudie - Studie Ib

Im folgenden Abschnitt soll der Einfluss der Kompression auf die Bildqualität dargestellt werden. Dabei wurden Bilder mit einer Auflösung von 1200 dpi verwendet, das ist die Auflösung, welche in der Auflösungsstudie als sichere Schwelle verifiziert wurde. Die Dateigröße des Ausgangsbildes vor der Kompression beträgt 4,6 MB.

Ergebnisse der jeweiligen Kompressionsverfahren

Die Ergebnisse werden wie bei der Auflösungsstudie als Summationsgrafiken und als Individuelle Schwellen dargestellt.

JPEG-Kompression

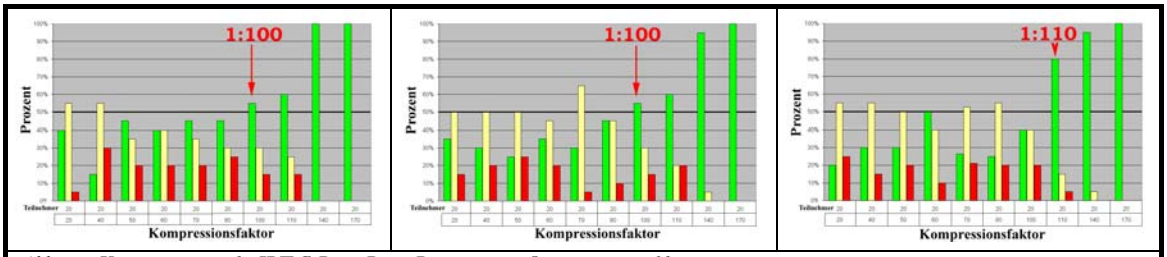


Abb. 43: Kompressionsstudie JPEG PowerPoint-Präsentation, Summationsgrafik
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Die JPEG-Studie dauerte pro Reihe mit je 10 Bildpaaren etwa 7 Minuten (individuelle Schwankung 4-10 min). Die 50-Prozent-Schwelle wird laut Definition (siehe Kapitel 3.3.2.) bei 1:100 bei der 1,5- und 2,5-fachen und bei 1:110 bei der 3,5-fachen Vergrößerung festgelegt.

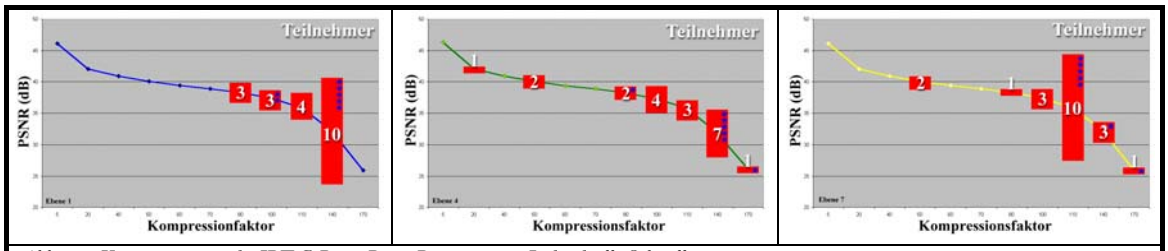


Abb. 44: Kompressionsstudie JPEG PowerPoint-Präsentation, Individuelle Schwellen
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Die individuellen Schwellen der Pathologen liegen größtenteils am unteren Ende der Kompressionsreihe. Die Ausnahmen werden von jüngeren Pathologen gebildet. Die Teilnehmer, die bei der 2,5- und 3,5-fachen Vergrößerung das Original zu einem sehr frühen Zeitpunkt erkennen, sind nicht identisch. Die individuellen Schwellen der älteren Teilnehmer sind am unteren Ende der Kompressionsreihe zu finden.

WAVELET-Kompression

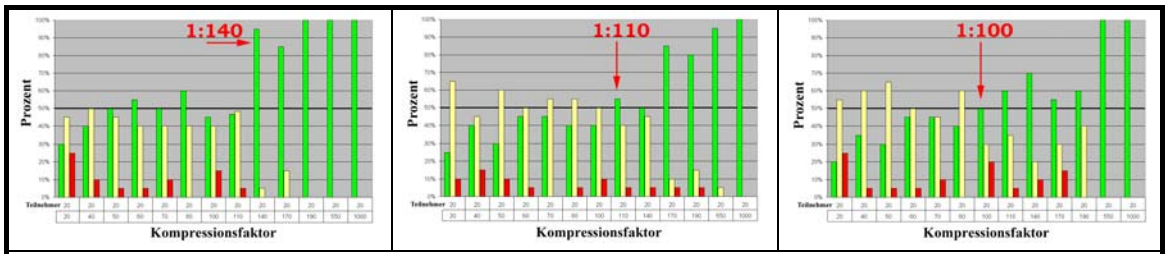


Abb. 45: Kompressionsstudie WAVELET PowerPoint-Präsentation, Summationsgrafik
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Die WAVELET-Studie dauerte pro Versuchsreihe mit je 13 Bildpaaren etwa 10 Minuten (individuelle Schwankung 8-13 min). Die 50-Prozent-Schwelle wird laut Definition (siehe Kapitel 3.3.2.) bei 1:140 bei 1,5-facher, bei 1:110 bei 2,5-facher, sowie bei 1:100 bei 3,5-facher Vergrößerung festgelegt.

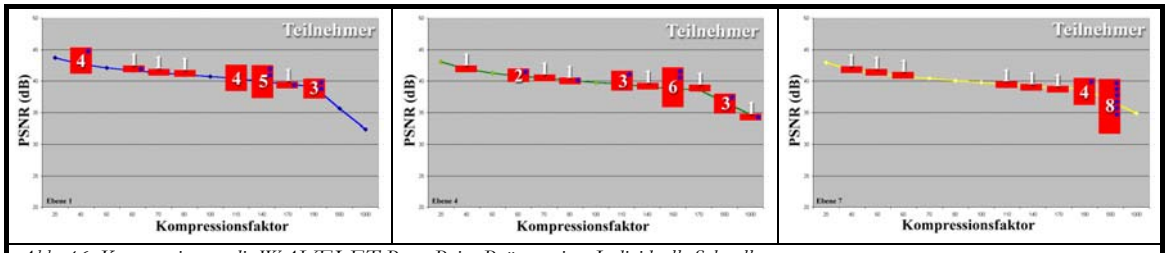


Abb. 46: Kompressionsstudie WAVELET PowerPoint-Präsentation, Individuelle Schwellen
a: 1,5-fache Vergrößerung *b: 2,5-fache Vergrößerung* *c: 3,5-fache Vergrößerung*

Die individuellen Schwellen sind verteilt über die gesamte Kompressionsreihe, jedoch sind es nicht immer die gleichen Teilnehmer, die das Original sehr früh erkennen. Bei der 3,5-fachen Vergrößerung gibt es zwei Teilnehmer, die bei jedem Bildpaar das Original erkannt haben, deshalb sind bei dieser Abbildung nur die individuellen Schwellen von 18 Teilnehmern enthalten. Die individuellen Schwellen der Pathologen sind größtenteils am unteren Ende der Kompressionsreihe lokalisiert. Dort finden sich auch die Schwellen der älteren Teilnehmer.

Vergleich der Kompressionsverfahren

Beim Vergleich liegt der Schwerpunkt auf der Analyse der möglichen Kompressionsraten und dem daraus resultierenden Qualitätsverlust.

Für die Untersuchung wurde ein Ausgangsbild mit einer Dateigröße von 4,6 MB verwendet. Das JPEG-Verfahren erlaubte hierbei eine maximale Kompressionsrate von 1:170 (die Dateigröße war nach der Kompression 27 Kb). Das WAVELET-Verfahren hingegen konnte das Ausgangsbild maximal mit einer Kompressionsrate von 1:5750 komprimieren (die Dateigröße betrug nach der Kompression 1 Kb). In der Abbildung 47 werden die Bilder, die mit JPEG und WAVELET maximal komprimiert wurden, gegenüber gestellt (rechtes und linkes Bild).
Die Abbildung 47.b. zeigt ein Bild, welches mit dem WAVELET-Verfahren mit einer Kompressionsrate von 1:170 komprimiert wurde (die Dateigröße war nach der Kompression 27 Kb). Das entspricht der maximalen Kompression bei der JPEG-Kompression.

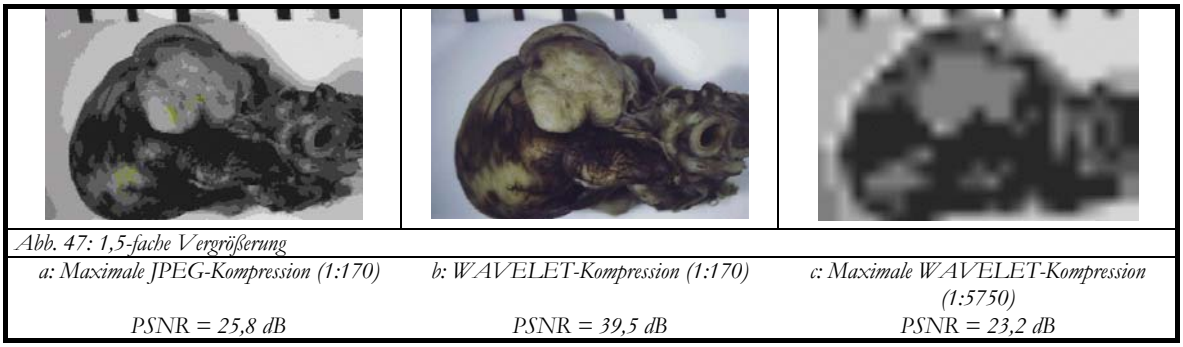


Abb. 47: 1,5-fache Vergrößerung

a: Maximale JPEG-Kompression (1:170)	*b: WAVELET-Kompression (1:170)*	*c: Maximale WAVELET-Kompression (1:5750)*
PSNR = 25,8 dB	*PSNR = 39,5 dB*	*PSNR = 23,2 dB*

Es ist erkennbar, dass mit den maximal komprimierten Bildern (rechtes und linkes Bild) keine Diagnostik mehr möglich ist.

Für den objektiven Vergleich der beiden Kompressionsverfahren hinsichtlich der Bildqualität erfolgte die Bestimmung der PSNR-Werte (vergleiche mit Kapitel 3.3.4).

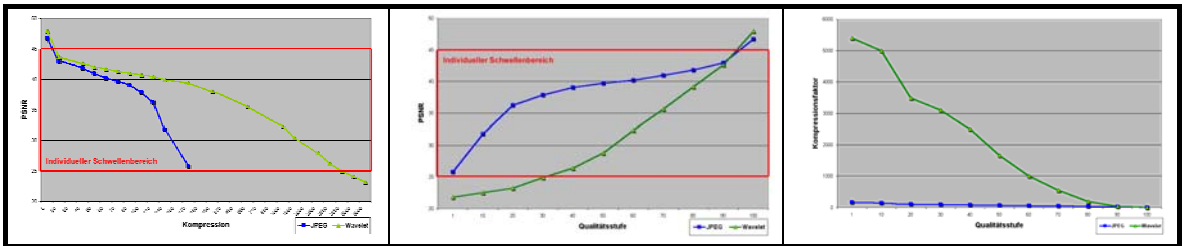


Abb. 48a: Kompressionsfaktor vs. PSNR	*Abb. 48b: Qualitätsstufe vs. PSNR*	*Abb. 48c: Qualitätsstufe vs. Kompressionsfaktor*

Abbildung 48a verdeutlicht die Abnahme der Qualität (Parameter ist der PSNR-Wert) mit zunehmender Kompressionsrate bei beiden Verfahren. Jedoch fällt die Kurve bei der WAVELET-Kompression nicht so steil ab, wie bei der JPEG-Kompression. Deshalb werden bei WAVELET erst bei höheren Kompressionsfaktoren zur JPEG-Komprimierung vergleichbare PSNR-Werte erreicht (siehe Tab. 20).

Tab. 20: Vergleich der Kompressionen von JPEG und WAVELET

PSNR (dB)	**Kompressionsrate**	
	JPEG	***WAVELET***
43	1:20	1:40
40	1:50	1:110
39	1:60	1:190
32	1:140	1:1000

In der Abbildung 48b werden die Qualitätsstufen, nach denen man komprimieren konnte (siehe Kapitel 3.3.3), den PSNR-Werten gegenüber gestellt. Dies dient dem Vergleich der beiden Kompressionsmethoden hinsichtlich der vorgegebenen Komprimierungsstufen.

Dabei wird deutlich, dass die Qualitätsstufen des JPEG-Verfahrens deutlich besser ausfallen, als die Qualitätsstufen bei der WAVELET-Kompression.
In der Abbildung 48c und in der Tabelle 21 werden die erreichten Kompressionsraten der jeweiligen Qualitätsstufe wiedergegeben.

Tab. 21: Vergleich der Kompressionsraten der Qualitätsstufen von JPEG und WAVELET

Qualitätsstufe	**Kompressionsrate**	
	JPEG	***WAVELET***
1	1:170	1:5750
10	1:140	1:4600
20	1:110	1:3833
30	1:100	1:3066
40	1:80	1:2300
50	1:70	1:1533
60	1:60	1:1150
70	1:50	1:580
80	1:40	1:190
90	1:20	1:40
100	1:5	1:1,5

Das erklärt, warum die einzelnen Qualitätsstufen bei JPEG höhere PSNR-Werte aufweisen als bei WAVELET, da bei dem WAVELET-Verfahren die Qualitätsstufen sehr viel höhere Kompressionsraten erreichen.

Die Tabelle 22 stellt die 50-Prozent-Schwellen für die einzelnen Ebenen für JPEG und WAVELET aus der Kompressionsstudie gegenüber, dabei wird zusätzlich das objektive Bildkriterium PSNR angegeben.

Tab. 22: Vergleich der 50-Prozent-Schwellen bei JPEG und WAVELET mit Angabe des PSNR-Wertes

	1,5-fache Vergrößerung		**2,5-fache Vergrößerung**		**3,5-fache Vergrößerung**	
	Kompressionsrate	*PSNR*	*Kompressionsrate*	*PSNR*	*Kompressionsrate*	*PSNR*
JPEG	1:100	38 dB	1:100	38 dB	1:110	36 dB
WAVELET	1:140	40 dB	1:110	40,4 dB	1:100	40,8 dB

Es zeigt sich, dass die Versuchsteilnehmer bei JPEG niedrigere PSNR-Werte akzeptieren, während bei WAVELET gleiche Kompressionsraten erreicht werden, die aber objektiv eine höhere Qualität aufweisen (d. h. einen höheren PSNR-Wert besitzen). Die menschliche Qualitätseinschätzung und der objektive Parameter PSNR beschreiben also nicht die gleichen Sachverhalte.

4.2. Das Telepathologiesystem TPS im Routineeinsatz

Die Integration des Telepathologiesystems TPS in die Arbeitsabläufe der Fetalpathologie erfolgte schnell und problemlos, da der Zugriff auf bereits vorhandene technische Geräte, wie PC mit angeschlossenem Makroskop und Stereomikroskop möglich war.

Es war bedingt durch den Einsatz dieser Geräte im Rahmen der Befunddokumentation mit dem System PIA nicht nötig, den Umgang mit diesen Geräten neu zu erlernen. Jedoch war eine Einarbeitung in die Software des TPS notwendig. Je nach Computervertrautheit und Vorwissen variierte die Einarbeitungszeit. Im Durchschnitt benötigten die Pathologen bis

zum relativ sicheren Umgang mit dem System bis zu einer Woche, bei täglichem Umgang mit dem System.

4.2.1. Autopsiestudie zur Evaluation der Telepathologie (online) - Studie II

Mit Hilfe der Telepathologie konnten in der Autopsiestudie alle Sektionen problemlos durchgeführt werden, ohne dass ein erfahrener Fetalpathologe vor Ort anwesend sein musste. Im Durchschnitt dauerte die Autopsie mit Telepathologiesystem und technischem Assistenten etwa 60 min (25-110 min). Die Tabelle 23 zeigt alle Routinefälle im Überblick sowie die jeweils benötigte Zeit pro Fall. Die Anwesenheit eines technischen Assistenten für die Bedienung der Geräte war sehr hilfreich, aber nicht unbedingt notwendig.

Tab. 23: Diagnose und Autopsiedauer der 10 Routinefälle

Fall-Nr.	Diagnose	SSW	Zeit (min)
1	Schwere Wachstumsretardierung	26.	25
2	Trisomie 18	34.	70
3	Trisomie 21	23.	75
4	Spontanabort, Z.n. vorzeitigem Blasensprung	23.	30
5	Makrozephalie, Ventrikelseptumdefekt, Pulmonalklappenstenose	23.	85
6	Trisomie 18	15.	70
7	Reno-hepato-pankreatische Dysplasie/ Ivemark-Syndrom	21.	110
8	Truncus arteriosus communis (Typ I), Hygroma colli	19.	50
9	Omphalozele, Zwerchfelldefekt, Lungenhypoplasie links, Ventrikelseptumdefekt	21.	65
10	Triploidie	15.	50

Bei der Online-Konsultation während der Autopsie wurden hauptsächlich dynamische Bilder übertragen. Dies ermöglichte eine Live-Diskussion am Organ unter Vermittlung eines räumlichen Eindruckes.

4.2.2. Arbeitsablauf im Online-Modus

Der Vergleich zwischen einer konventionell durchgeführten Sektion der Feten und einer Autopsie mit telepathologischer Konsultation, zeigt Unterschiede im Arbeitsablauf, sowie Differenzen in den Anforderungen an den Pathologen und die benötigte Zeit pro Fall. Tabelle 24 stellt die einzelnen Arbeitsschritte einer konventionellen Autopsie denen einer Telepathologie-Konsultation gegenüber.

Tab. 24: Vergleich der einzelnen Arbeitsschritte bei konventioneller und telepathologischer Konsultation während einer Autopsie

Arbeitsschritt		Konventionell		Telepathologisch	
		Bemerkung	Zeitbedarf	Bemerkung	Zeitbedarf
Befund- und Material-versand	**Vorbereitung**	Anschreiben mit Fragestellung, Falldaten, Objektträger, Paraffinblöcke bzw. Organe/-organpakete	ca. 1-2h	Fet unter Makroskop/ Organe unter Stereomikroskop bereit legen	ca. 1-2 min
	Transport	Postweg	ca. 1-2 d	elektronisch	entfällt (live)
Fallvorstellung		schriftliche Form	-	Demonstration am Fetus/ Organ	ca. 10 min - 1h

Diagnostik (zweite Meinung)	Antwortschreiben	ca. 1-2 d	verbal online	ca. 10 min
Fallabschluss	Diktat des Autopsieberichtes	ca. 1 h	elektronische Erfassung der Text- und Bildbefunde mit abschließender Diagnose	ca. 30 min
Archivierung	Ablage des Schriftwechsels und Bildmaterials	ca. 10 min	Speicherung in Falldatenbank	ca. 1 min
Σ		**ca. 2-4 Tage**		**ca. 1-2 Stunden**

4.2.3. Herzstudie zur Evaluation der Telepathologie (offline) - Studie III

Bei dieser Untersuchung erwies sich die selbsterklärende Darstellung der pathologischen Befunde anhand der bereits präparierten und fixierten Herzen als nicht ganz einfach.

In der Tabelle 25 sind die Anzahlen der für die einzelnen Fälle notwendigen Bilder aufgelistet.

Tab. 25: Zusammenhang zwischen Diagnose, Rückfragen, Bildzahl und Antwortzeit

Fall-Nr.	Herzfehlbildung	Rückfragen	Minimale Antwortzeit (Tage)	Bildanzahl
1	**IAA („Typ B")**	Ja	1	4
2	**AVSD (Rastelli Typ a), ASD (Typ II)**	Ja	1	5
3	**DORV**	Nein	1	6
4	**DORV**	Ja	2	3
5	**TGA**	Nein	1	4
6	**TOF**	Ja	2	6
7	**TGA**	Nein	1	7
8	**HLH**	Nein	1	7
9	**HLH**	Ja	1	5
10	**AOVS**	Nein	1	3

Abkürzungen: AOVS - Aortenklappenstenose, ASD - Atriumseptumdefekt, AVSD - Atrioventrikularseptumdefekt, DORV – Double outlet right ventricle, HLH- Hypoplastischer Linksherzkomplex, IAA – unterbrochener Aortenbogen, TGA – Transposition der großen Arterien, TOF – Fallotsche Tetralogie

Wir beschränkten uns auf die Aufnahme von statischen Bildern. Dies erschwerte die Darstellung der Befunde an überwiegend kleinen Herzen, da der räumliche Eindruck, den dynamische Bilder vermitteln können, in unbewegten Momentaufnahmen nur schwer vermittelt werden kann. Bei der Darstellung der Fehlbildungen beschränkten wir uns auf die Aufnahme pathologischer Details.

Die Einarbeitung der Falldaten und Bilder in die PowerPoint Datei war relativ einfach, jedoch sehr zeitaufwendig. Jedes Bild wurde an die Dateivorlage angepasst und komprimiert. Dies war nötig, da der Umfang der E-Mails mit unkomprimierten Bildern etwa 10 MB erreichte (siehe Tab. 26). Datenmengen, von diesem Ausmaß, konnten wir nicht versenden, da die E-Mail-Größe auf ca. 8 MB durch den Mail-Servers der Charité begrenzt ist. Mit

ähnlichen Einstellungen muss man derzeit überall rechnen.

Tab. 26: Anzahl der Bilder pro Fall, Dateigröße mit und ohne Kompression der Bilder

Fall-Nr.	Herzfehlbildung	Bildanzahl	Dateigröße in Kb	Dateigröße nach Kompression in Kb
1.	**IAA („Typ B“)**	4	3865	572
2.	**AVSD (Rastelli Typ a), ASD (Typ II)**	5	8990	845
3.	**DORV**	6	2181	929
4.	**DORV**	3	1269	550
5.	**TGA**	4	1920	601
6.	**TOF**	6	2233	806
7.	**TGA**	7	10403	711
8.	**HLH**	7	12992	789
9.	**HLH**	5	3358	799
10.	**AOVS**	3	5635	437

Jedes Bild wurde durch Annotationen und Anmerkungen ergänzt. Zu einigen Abbildungen wurden spezielle Fragestellungen eingegeben (siehe Abschnitt 3.4.2).

Die per E-Mail konsultierten Experten antworteten in unterschiedlicher Form und in verschiedenen Zeiträumen. Einige Antworten wurden bereits am selben Tag zurück gesandt. In 5 Fällen, gab es seitens der Experten Rückfragen. Diese bezogen sich auf weitere spezielle Herzbefunde, die in der ursprünglichen Anfrage nicht erfasst waren und auf zusätzliche bildliche Darstellungen von pathologischen Befunden, die auf den präsentierten Bildern nicht problemlos erkennbar waren. In diesen Fällen wurde eine um die angeforderten Bilder ergänzte PowerPoint Datei per E-Mail versandt. Danach konnten in allen Fällen abschließende Diagnosen gestellt werden.

Alle Präsentationen hatten den selben Aufbau (siehe auch Abschnitt 3.4.2.).

Tab. 27: Aufbau und Inhalt der PowerPoint Datei

Element	Erläuterung	Einschätzung durch Experten
Formulierung der Anfrage	Stichworte	Daten waren ausreichend für die Beurteilung des Falles
Falldaten-Präsentation (Stammdaten, klin./patholog. Befunde, Herzprotokoll)	Notwendig für Fallverständnis und Voraussetzung für Beurteilung	
Anzahl der Bilder	Ausreichende Anzahl für schnelle Orientierung, Nicht zu große Anzahl, Keine Wiederholungen	Gute Struktur Das Wesentliche war schnell erfassbar
Bildliche Darstellung der Fehlbildungen	Übersichtsbild mit Maßstab zur Orientierung Ausschließlich pathologische Befunde	Bildqualität wurde als sehr gut bezeichnet
Annotationen/ Beschriftung	Voraussetzung für eindeutige Zuweisung anatomischer Strukturen und pathologischer Befunde	Beschriftung war teilweise notwendig für die Orientierung

Abkürzungsverzeichnis	Einheitliche anatomische und pathologische Nomenklatur als gemeinsame inhaltliche Basis	Diese wurden als Grundlage für eine gemeinsame Basis akzeptiert
Normmaße	Sinnvolle Ergänzung zur aktuellen Falleinordnung	

Die Struktur und die Inhalte der PowerPoint Datei waren für alle konsultierten Experten verständlich. In etwa 1/3 der Fälle gab es seitens der Experten Rückfragen mit der Bitte weitere Erläuterungen und weitere Bilder zu liefern. Nach Beantwortung der Rückfragen der Experten konnten alle Fälle abgeschlossen werden.

4.2.4. Einzelne Arbeitsabläufe im Offline-Modus

Der Arbeitsablauf bei der telepathologischen Konsultation im Offline Modus unterscheidet sich sehr wenig von dem einer konventionellen Konsultation.

Tab. 28: Vergleich der Arbeitsschritte von konventioneller und telepathologischer Konsultation (Zweite Meinung bei schwierigen Herzfehlbildungen)

Arbeitsschritt		**Konventionell**		**Telepathologisch**	
		Bemerkung	**Zeitbedarf**	**Bemerkung**	**Zeitbedarf**
Befund- und Material-versand	**Vorbereitung**	Anschreiben mit Fragestellung, Falldaten, Objektträger, Paraffinblöcke bzw. Organe/-organpakete	ca. 1-2 h	Befunde aufnehmen	ca. 30 min
				Fallpräsentation vorbereiten (PowerPoint)	ca. 1-2 h
	Transport	Postweg	ca. 1-2 d	elektronischer Versand	Minuten
Fallvorstellung		schriftliche Form	-	Fallpräsentation (PowerPoint)	ca. 10 min – 1 h
Diagnostik (zweite Meinung)		Antwortschreiben	ca. 1-2 d	Einarbeitung in die vorgesehenen Felder der PowerPoint Präsentation	ca. 20 min
				elektronischer Versand	Minuten
Fallabschluss		Diktat des Autopsieberichtes	ca. 1 h	elektronische Erfassung der Text- und Bildbefunde mit abschließender Diagnose	ca. 30 min
Archivierung		Ablage des Schriftwechsels und Bildmaterials	ca. 10 min	Speicherung in Falldatenbank	ca. 1 min
Σ			**ca. 2 - 4 Tage**		**ca. 5 Stunden - 1 Tag**

Hervorzuheben ist, dass die telepathologische Konsultation unter der Voraussetzung der Erreichbarkeit des Experten in einem kürzeren Zeitraum erfolgen kann, und die Fälle ohne weiteren Aufwand automatisch in einer Datenbank gespeichert werden können.

5 Diskussion

5.1. Relevanz der Aufgabenstellung

Um die Qualität der fetalen Diagnostik zu sichern, ist es in zahlreichen Fällen sinnvoll oder sogar notwendig, die zweite Meinung eines Kollegen einzuholen. Diese Konsultation ist jedoch durch die geringe Expertenzahl gerade in der Fetalpathologie nur in begrenztem Rahmen möglich (Tennstedt et al. 2000b).

Die geringe Anzahl erfahrener Pathologen auf dem Gebiet der fetalen Diagnostik ist auch eine Folge des Schwerpunktwandels in der Pathologie. Dieser vollzog sich in den vergangenen Jahren in Richtung Molekularpathologie.

Die neuen technischen Entwicklungen im Rahmen der Telemedizin und speziell im Bereich Telepathologie eröffnen insbesondere durch die vereinfachte Konsultationsmöglichkeit eines geographisch entfernten Experten auf internationaler Ebene neue Möglichkeiten.

Die Frage inwieweit derartige Technologien dabei helfen können, die oben genannten Probleme zu lösen, ist sowohl aus individueller Sicht des Pathologen, als auch aus Sicht der Verantwortlichen in wissenschaftlichen Gesellschaften und Verbänden interessant.

Neben der grundsätzlichen Frage nach Eignung der Technik, stellt sich die Frage nach Aufwand, Schulung, Vor- und Nachteile eines Einsatzes der Telepathologie in der fetalen Diagnostik.

5.2. Eignung von Material und Methodik

5.2.1. Fallauswahl

Die Auswahl der Fälle erfolgte zusammen mit einem erfahrenen Pathologen und einem Experten auf dem Gebiet der Kinderpathologie.

Für die Untersuchung der Bildqualität (Studie Ia und Ib siehe Kapitel 3.3.2 und 3.3.3) wurde als Referenzorgan das Herz eines Feten aus der 22. Schwangerschaftswoche verwendet. Das Herz zeigte die morphologische Veränderung eines hypoplastischen Linksherzkomplexes (siehe Kapitel 3.3.2.). Dieses Hohlorgan weist die spezifischen Merkmale drei-dimensionaler Objekte auf. So werden bei der Präparation die Herzhöhlen eröffnet, die an der Außenseite konkave Ausbuchtungen aufzeigen, ebenso gut lassen sich die einzelnen Herzkranzgefäße auf der äußeren Herzoberfläche darstellen. Da das Organ sowohl mit dem Makroskop als auch mit dem Stereomikroskop beurteilbar ist und das Oberflächenrelief sowie die Farbeigenschaften des Herzens viele Aspekte anderer Organe vereint, eigneten sich die Aufnahmen des Herzens gut für die Beurteilung der Bildqualität.

Für die Autopsiestudie (Studie II siehe Kapitel 3.4.1.) wurden fortlaufende Routinefälle eines Monats aus der fetalen Diagnostik einbezogen (vgl. Tab. 14). Diese Fälle repräsentieren ein breites Spektrum möglicher Sektionsfälle und können für die prinzipielle Eignung telepathologischer Techniken als repräsentativ angesehen werden.

Für die Herzstudie (Studie III siehe Kapitel 3.4.2.) wurden 10 Fälle der letzten 5 Jahre mit komplexen Herzfehlbildungen herausgesucht, die ein großes Fehlbildungs-Spektrum umfassen (vergleiche mit Tabelle 15). Die Auswahl unterstützte ein Experte für Herzfehlbildungen und ein erfahrener Kinderpathologe.

5.2.2. Technik

Für die einzelnen Studien wurden die vorhandenen Systeme am Institut für Pathologie genutzt. Die technischen Geräte kamen dabei in unterschiedlichem Umfang zum Einsatz (siehe Tabelle 30).

Tab. 29: Einsatz der technischen Geräte und Software in den einzelnen Studien

Gerät	Studien		
	Auflösungs- und Kompressionsstudie	**Autopsiestudie**	**Herzstudie**
Stereomikroskop	Bildaufnahme	Bildaufnahme	Bildaufnahme
Makroskop	Bildaufnahme	Bildaufnahme	
Fotoapparat	Bildaufnahme		
Diascanner	Bildaufnahme		
Diabelichter	Bildaufnahme		
Diaprojektor	Bildpräsentation		
PC	Datenaufbereitung	Datenaufbereitung	Datenaufbereitung
Monitor	Darstellung	Darstellung	Darstellung
TPS		Fallbehandlung	
Photoshop	Bildbearbeitung		Bildbearbeitung
SmartCompress	Bildkompression		
PowerPoint			Datenaufbereitung

Das **Stereomikroskop** und das **Makroskop** eigneten sich für die Bildaufnahme besonders durch die Möglichkeit der stufenlosen Vergrößerung. Das Makroskop von Wolfvision Visualizer VZ 15b ist mit einer 1-Chip-CCD-Videokamera ausgestattet, welche eine relativ hohe Auflösung der Bilder ermöglicht. Furness (Furness 1997) empfiehlt die Verwendung von 3-Chip-CCD-Kameras, diese sind allerdings sehr teuer und das entstehende Bild ist unwesentlich besser (Della Mea 1998b). Des weiteren zeichnet sich das Makroskop durch die Möglichkeit der schattenfreien Beleuchtung der Objekte und die Ausleuchtbarkeit von Hohlräumen aus. Das Makroskop lässt sich direkt am Gerät, und per Fernbedienung steuern, wodurch die Bedienung während der Autopsie von Feten erleichtert wurde (www.visopta.ch). Die Bildqualität, die sowohl mit dem Stereomikroskop als auch mit dem Makroskop erreicht werden kann, ist adäquat für die Verwendung in der Telepathologie (Della Mea 1998b). Bei der weiteren Bildaufnahme wurden die vorhandenen Geräte (**Fotoapparat, Diascanner und Diabelichter**) genutzt.

Für die Auflösungsstudie (Studie Ia - Dia-Doppelprojektion im Hörsaal) ist bewusst auf die Anwendung von zwei **Projektoren** gleichen Typs geachtet worden (vergleiche mit dem Studiendesign von Bittorf et al. 1997). Zum einen, um Einflüsse durch die spezifischen Geräteunterschiede auszuschalten und zum anderen, um eine einfache Bedienung zu ermöglichen (eine Fernbedienung für zwei Geräte). Jedoch konnten geringfügige Unterschiede der beiden Geräte nicht ausgeschlossen werden. Ein wesentlicher Nachteil der verwendeten Projektoren war der Auto-Fokus, welcher nach dem Diawechsel zu vergleichsweise unterschiedlichen Projektionsergebnissen führen konnte. D. h. die projizierten Dia-Paare wurden nicht gleich scharf auf der Leinwand abgebildet, dadurch musste dann der Fokus per Hand nachreguliert werden. Dieser Effekt wurde aber durch die randomisierte Verteilung von Original und Testbild weitgehend eliminiert. Ähnliche Probleme zeigten sich bei Bittorf et al. 1997, die ebenfalls Bildpaare per Dia-Projektor präsentierten.

Für die Bildbearbeitung wurde **Photoshop** eingesetzt. Damit wurde die Auflösung der Bilder geändert. Jedoch war mit dem Programm keine befriedigende Bildkompression möglich, so dass für die Kompression das Programm **SmartCompress** von LuraWave gewählt wurde. Dieses zeichnet sich durch umfangreiche Einstellmöglichkeiten für die Bildkompression aus (LuraWave 2000). Es besitzt einen spezifischen JPEG- und WAVELET-Filter.

Das Programm **PowerPoint** von Microsoft wurde für die Aufbereitung der Falldaten in der Herzstudie (Studie III) verwendet. Dabei standen zwei wichtige Aspekte im Vordergrund.

1. Dieses Programm ist sehr weit verbreitet (Unternehmensanalyse Microsoft 2000), d.h. ein großer Teil der Empfänger konnte die Dateien öffnen und für die Diagnosestellung verwenden.
2. Die Falldaten konnten schnell und einfach aufbereitet werden. Dies ermöglichte eine Integration in die Routineabläufe.

5.2.3. Methodik

Studien zur Bildqualität makroskopischer Bilder (Studie Ia und Ib)

Für die Studien zur Bildqualität makroskopischer Bilder wurde das gewählte Organ (fetales Herz, siehe 5.2.1) mit verschiedenen Vergrößerungen aufgenommen, um analog zu den verschiedenen Objektiven bei mikroskopischen Bildern die Qualitätsänderung abhängig von der Vergrößerung einschätzen zu können.

Die Wahl der **Auflösungsstufen** (siehe Tab. 11 u. 12) erfolgte relativ frei und analog zur Auflösungsstudie von Bittorf et al., wobei die obere Grenze (2400 dpi) durch den Dia-Scanner vorgegeben wurde. Die untere Grenze wurde bei 150 dpi festgelegt, denn hier war ohne große Mühe ein Qualitätsverlust offensichtlich. Die einzelnen Abstände zwischen den Auflösungsstufen innerhalb der maximalen und minimalen Auflösung wurden unterschiedlich festgelegt. Um die vermutete Auflösungsschwelle betragen die Abstände nur 100 dpi, während die Abstände im Randbereich (bei Maximum und Minimum) 300 dpi betragen.

Für die Untersuchung der **Kompression** wurden die jeweiligen Abbildungen aus der Auflösungsstudie gewählt, die als sichere Schwelle verifiziert wurden, also von keinem der Teilnehmer als schlechter als das Original bewertet wurden (vgl. 4.1.3). Diese Abbildungen wurden mit dem momentan weit verbreiteten JPEG Verfahren und im Vergleich dazu mit dem zukünftig im JPEG2000-Standard integrierten WAVELET Verfahren komprimiert.
Es wurde bei der Kompression mit dem JPEG Verfahren begonnen und nach den vom Programm vorgegebenen Qualitätsstufen komprimiert. Daraus ergaben sich komprimierte Bilder mit einer bestimmten Dateigröße. Mit dem WAVELET Verfahren wurden die Ausgangsbilder sowohl nach der Dateigröße (diese entsprechen der Dateigröße wie beim JPEG Verfahren, d.h. es wurden mit den selben Kompressionsraten komprimiert) als auch nach der Qualitätsstufe komprimiert (siehe Abb. 48 a-c).

Im Verlauf der **Bildpräsentationen** war bei den Teilnehmern eine zunehmende Müdigkeit zu verzeichnen, sowie eine Abnahme der Konzentration und Aufmerksamkeit. Diese Fehlerquelle wurde durch sich abwechselnde Bilderreihen weitgehend ausgeschaltet, d.h. einer Kompressionsreihe mit makroskopischen Bildern folgte eine Reihe mikroskopischer Bilder. Innerhalb der Bilderreihen wechselten sich leicht und schwer zu bewertende Bilder ab, d.h. einfach zu bewertende Bilder können einfach vom Original unterschieden werden, und für schwer zu beurteilende Bilder wird sehr viel Konzentration und Zeit des Teilnehmers benötigt.
Unabhängig vom Monitor lagen die individuellen Schwellen der älteren Teilnehmer

regelmäßig im unteren Bereich der Reduktions- oder Kompressionsreihe. Dies ist mit der Abnahme der Visusleistung im Alter zu begründen (Gerth et al. 2001). Hervorzuheben ist das Resultat, dass die individuellen Schwellen der Pathologen ebenfalls in den unteren Bereichen zu finden sind. Dies hängt wahrscheinlich mit der Erfahrung und dem damit verbunden inhaltsspezifischen Blick, sogenanntes „Mustern" der Bilder, zusammen. Das gilt insbesondere für die Beurteilung der mikroskopischen Bilder.

Für die **Beurteilung des Qualitätsverlustes** durch die Reduktion der Auflösung gibt es keinen objektiven Parameter. Jedoch sind bei der Kompression für den Vergleich von Originalbild mit dem komprimierten Bild mehrere Qualitätsparameter vorhanden (siehe 3.3.4). Eikelboom (2001) verwendete für seine Untersuchungen das Qualitätskriterium RMS (Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers = Root Mean Square Error) und Lattner et al. (1996) zeigen eine Korrelation zwischen RMS und diagnostischer Sicherheit. Für die vorliegenden Untersuchungen wurde das Spitzenwert-Signal-Rausch-Verhältnis (PSNR) verwendet. Diesen Parameter kann man sehr leicht mit Hilfe diverser Bildanalyseprogramme berechnen und er korreliert mit dem RMS-Wert (siehe Formeln in Kapitel 3.3.4). Der PSNR-Wert wurde bereits von mehreren Autoren verwendet, wodurch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sehr gut mit anderen Resultaten vergleichbar sind (z.B. Iyriboz et al. 1999, Berghorn et al. 2000 etc.).

Fallstudien zum praktischen Einsatz der Telepathologie

Für die Untersuchung des praktischen Einsatzes der Telepathologie in der fetalen Diagnostik wurden zwei Szenarien gewählt: Die Autopsiestudie (vgl. 3.4.1) und die Herzstudie (vgl. 3.4.2).

Für die **Autopsiestudie** wurden die Fälle aus der Routine ausgewählt und die Autopsie wurde telepathologisch unterstützt, wobei ein erfahrener Kinderpathologe per Telekonferenz zugeschaltet war und so die gesamte Sektion verfolgen konnte. Festgestellt werden konnte, dass der Zeitbedarf bei einer konventionellen Konsultation (2-4 Tage) gegenüber einer telepathologischen Konsultation (1-2 h) wesentlich länger dauerte, wobei vergleichbare Ergebnisse erzielt wurden (vgl. Tab. 24).

Für die **Herzstudie** wurden 10 Fälle mit komplexen Herzfehlbildungen herausgesucht. Die Darstellung der pathologischen Befunde anhand der bereits präparierten und fixierten Herzen erwies sich als nicht ganz einfach. Zur Aufbereitung der Befunde in der PowerPoint Datei wurden statische Bilder angefertigt, wodurch oftmals der räumliche Eindruck schwer vermittelt werden konnte. Zur Lösung dieses Problems wurden ein Übersichtsbild beigefügt und einzelne Strukturen beschriftet. Dennoch wurden in der Hälfte der Fälle Anfragen zu weiteren, ergänzenden Bildbefunden gestellt. Mit Ergänzung der Befunde konnten letztendlich alle Diagnosen gestellt werden.

5.3. Anforderungen an die Bildqualität

Für die Anwendung telepathologischer Techniken in der Routine muss ein hinreichend schneller Datentransfer erfolgen und die Daten müssen in akzeptabler Qualität übertragen werden (Kayser 1999a, Bittorf 1997, Della Mea 1998b, Marcelo 2000 u.v.a.). Da zur Zeit keine flächendeckenden Netzwerke mit großer Bandbreite verfügbar sind, müssen für eine schnelle Bildübertragung und eine für die Diagnostik akzeptable Bildqualität die Auflösung der Bilder und die Bildkompression optimiert werden (Bittorf et al. 1997). Doolittle et al. (1997) zeigten eine weitere Methode die Datengröße von Bildern zu reduzieren, durch Verminderung des Farbumfanges. Es wurden 24-bit Bilder zu 8-bit Bildern umgewandelt und anschließend wurde die Qualität subjektiv eingeschätzt. Erstaunlicherweise zeigte sich, dass die 8bit Bilder besser als die 24bit Bilder abschnitten.

Bei den Anforderungen an die Bildqualität muss beachtet werden, dass es sehr unterschiedliche Bildtypen und -arten gibt: z.B. zwei- und dreidimensionale Bilder oder statische (Standbilder) und dynamische (bewegte) Bilder sowie speziell in der Pathologie makroskopische und mikroskopische Bilder von unterschiedlichen Organen mit verschiedenen Färbungen.

In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich statische makroskopische Bilder untersucht. Zur Gegenüberstellung werden die Ergebnisse der Dissertationsarbeit von Schlesner (Schlesner J. 2002) und die Untersuchungsergebnisse von Daniel et al. 2000 über statische mikroskopische Bilder herangezogen.

5.3.1. Statische makroskopische Bilder

Aufnahme

Schon bei der **Bildaufnahme** muss auf optimale Bedingungen geachtet werden, z. B. ausreichende Beleuchtung, optimal kalibrierte Bildaufnahmegeräte etc. Die Wahl der Bildaufnahmetechniken spielt ebenso eine wichtige Rolle. Della Mea stellte 1998 die üblichen Aufnahmegeräte vor: Mono-CCD-Kameras im Vergleich zu 3CCD-Kameras, Digitalkameras und Fotoscanner. Die verbreitetste Anwendung fanden Mono-CCD-Kameras, nicht zuletzt weil sie wesentlich billiger sind als 3CCD-Kameras und der qualitative Unterschied kaum sichtbar ist. Wichtige Kriterien für die spätere Bildqualität sind neben der Helligkeit und dem Kontrast, die Bildschärfe insbesondere die Tiefenschärfe (Kuakpaetoon et al. 1998).

Datenreduktion

Mehrere Studien zeigen, dass eine Datenreduktion ohne entscheidende qualitative Einbußen grundsätzlich immer möglich ist, um das Fall- und Bildmaterial routinemäßig in akzeptablen Zeiträumen zu versenden (zusammenfassende Darstellung bei Furness et al. 1997). Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Arbeiten zur Bilddatenreduktion durch Farbreduktion, Auflösungsänderung und Kompression vorgestellt.

Doolittle et al. untersuchten die Möglichkeit der **Farbreduktion**, um die Dateigröße zu minimieren. Dabei wurden Farbbilder von 24-Bit auf 8-Bit reduziert, das Datenvolumen sank dabei auf ein Drittel der Ursprungsgröße. Erstaunlicherweise wurden die 8-Bit Bilder in einer randomisierten Studie von den Teilnehmern den 24-Bit Bildern vorgezogen (Doolittle et al. 1997). Die Datenreduktion mit Hilfe der Farbreduktion wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

Bittorf et al. untersuchten 1997 den Einfluss der **Auflösungsänderung** auf die Bildqualität und die diagnostische Sicherheit bei makroskopischen Bildern in der Dermatologie. Dabei fiel auf, dass das Verhältnis von dargestellter Läsion und Bildgröße bei der Beurteilung des Einflusses der Auflösungsänderung auf die Bildqualität eine entscheidende Rolle spielt. Bilder mit einer Größe von 768 x 512 (das entspricht einer Auflösung von 600 dpi, siehe Tabelle 12) werden besser beurteilt als kleinere Bilder (192 x 128, oder 384 x 256), jedoch gleich gut bewertet wie größere Bilder (1535 x 1025, oder 3072 x 2048). Angaben zur Größe der Befunde oder zur entsprechend aufgenommenen Vergrößerung wurden nicht gemacht.

In der **Auflösungsstudie** (Studie Ia) der vorliegenden Arbeit wurden die jeweils präferierten Auflösungen der einzelnen Vergrößerungen ermittelt (siehe Tab. 31). Für das Übersichtsbild (1,5-fache Vergrößerung) wird die 50-Prozent-Schwelle bei 1200 dpi festgelegt, das entspricht einer Bildgröße von 1535 x 1025. Folglich wurden darunter liegende Auflösungsstufen als schlechter bewertet, während darüber liegende Stufen mindestens als gleich gut empfunden wurden. Für die 2,5- und die 3,5-fache Vergrößerung liegt die 50-Prozent-Schwelle niedriger, dies kann durch Unaufmerksamkeit oder zunehmende Müdigkeit der Teilnehmer bedingt sein. Für die Gewährleistung einer sicheren Diagnostik sollte

demnach die Auflösung unabhängig von der Vergrößerung nicht unter 1200 dpi liegen.

Tab. 30: Ergebnis der Auflösungsstudie

Vergrößerung	50-Prozent-Schwelle (Auflösung in dpi)	Bildgröße (Pixel)
1,5-fach	1200 dpi	1535 x 1025
2,5-fach	700 dpi	896 x 598
3,5-fach	800 dpi	1024 x 683

Eikelboom et al. untersuchten den Einfluss von JPEG- und WAVELET-**Kompression** auf die Bildqualität von Augenhintergrundbildern in der Ophthalmologie. Dabei untersuchten sie die komprimierten Bilder auf objektive und subjektive Unterschiede im Vergleich zum Originalbild. Als objektives Kriterium diente die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMS = Route Mean Square Error siehe Kapitel 3.3.4). Sie stellten fest, dass der RMS ein guter Parameter für die objektive Messung der Bildqualität nach vorangegangener Kompression ist. Es gibt jedoch keine Richtlinien hinsichtlich eines akzeptablen RMS-Wertes. Allerdings existiert eine Studie, in welcher der Zusammenhang zwischen RMS und dem Grad der diagnostischen Qualität von Bildern untersucht wird (Lattner et al. 1996). Die Ergebnisse offenbaren eine Korrelation zwischen RMS und diagnostischer Sicherheit.

Eikelboom et al. ermittelten, dass die JPEG-Kompression eines 1,5 MB großen Ausgangsbildes bis zu einer Kompressionsrate von 1:52 ohne sichtbaren Qualitätsverlust möglich war. Die WAVELET-Kompression erreichte bei dem gleichen Ausgangsbild eine Kompressionsrate von 1:68 ohne sichtbaren Qualitätsverlust. Es ist jedoch nicht angegeben, ob es sich um makroskopische oder mikroskopische Aufnahmen handelt.

Die Ergebnisse der **Kompressionsstudie** (Studie Ib) lassen sich relativ gut mit denen von Eikelboom et al. vergleichen, da ebenfalls mit JPEG und WAVELET komprimiert wurde (siehe Tab. 32). Allerdings konnte nicht festgestellt werden, welchen WAVELET-Algorithmus Eikelboom et al. verwendeten.

Tab. 31: Vergleich der Ergebnisse von Eikelboom und der Kompressionsstudie

Studie		JPEG	WAVELET
Eikelboom		1:52	1:68
Kompressions-studie	Vergrößerung		
	1,5-fach	1:100	1:140
	2,5-fach	1:100	1:110
	3,5-fach	1:110	1:100

Als **objektives Qualitätskriterium** wurde in der vorliegenden Arbeit der PSNR-Wert benutzt (siehe Kapitel 3.3.4.). Dieser Wert lag bei der 50-Prozent-Schwelle für die JPEG-Kompression bei 38 dB und für WAVELET bei 40 dB (siehe Tab. 23). Komprimierte Bilder mit einem PSNR-Wert kleiner 35 dB wurden von den meisten Teilnehmern als schlecht bewertet. Das gilt sowohl für JPEG als auch WAVELET. Daraus folgt, dass der Qualitätsverlust nicht zu groß werden darf, d.h. der PSNR-Wert sollte bei der Kompression nicht unter 35 dB sinken.

Übertragung

Die erste Bildübertragung (periphere Blut-Ausstriche und Knochenmarksausstriche) in der Geschichte der Telepathologie war 1973 via Satellit von einem Schiff, das vor der brasilianischen Küste vor Anker lag, nach Washington (Weinstein 1997a). Seitdem haben sich sehr viele Standards auf dem Gebiet der Datenübertragung etabliert. Kayser et al. analysierten 1999 und 2000 die derzeitige Netzwerk-Infrastruktur bezüglich

eines schnellen und sicheren Informationsaustausches. Der elektronische Datentransfer kann dabei leitungsgebunden oder drahtlos erfolgen, z.B. via Telefonnetz (oft noch analoge Kupferleitungen), Glasfieberkabel, Fernsehkabelnetz und Stromnetz. Hinzu kommen die drahtlosen Verbindungsmöglichkeiten via Satellit oder Radio-Kurzwelle. Glasfieberkabel ermöglichen die höchste Transferrate pro Sekunde, gefolgt von Radio-Kurzwelle und dem elektrischen Stromnetz. (Kayser et al. 2000a).
Standard-Verbindungen sind momentan Modem oder ISDN-Leitungen mit einer Übertragungskapazität von etwa 50-100 Kbps. Wichtig ist, dass die Information während der Übertragung nicht verändert wird oder verloren geht. Ebenso muss der unberechtigte Zugriff durch Dritte verhindert werden. Das kann am sichersten durch direkte Verbindung von Sender und Empfänger erfolgen (Punkt zu Punkt- Verbindungen siehe Weinstein 1986, Oberholzer et al. 1993), oder durch die Verwendung standardisierter Netzwerke, welche Übertragungs- und Sicherheitsprotokolle sowie Identifikationsroutinen verwenden (a et al. 1999). Datensicherheit wird ebenfalls durch das Public-Key-Protection-Programm gewährleistet (Rhee 1994, Riesel 1994). Der autorisierte Zugriff erfolgt dabei über Passwortabfragen, und die Internetserver werden durch eine Firewall geschützt (Haroske et al. 2000).

Provost et al. (1998) untersuchten digitale Bilder (dermatologische makroskopische Bilder von malignen Melanomen und atypischen melanozytischen Naevi) nach der Übertragung via Internet auf ihre Einsatzfähigkeit in der Diagnostik. Dabei kamen sie zu dem Urteil, dass die übertragenen Bilder keinen Unterschied zu nicht übertragenen Bildern aufweisen und für die Diagnostik ebenso geeignet sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde ebenfalls die Einsetzbarkeit übertragener Daten für die Diagnostik untersucht. In der Herzstudie (Studie III siehe Kapitel 3.4.2.) wurden Falldaten (Patienteninformationen, Befunde und makroskopische Bilder der pathologischen Fehlbildungen) versandt mit der Bitte, eine zweite Meinung zu einer Herzfehlbildung abzugeben. Es war nach Rückfragen und dem Wunsch nach weiteren Abbildungen in allen Fällen möglich, die genaue Diagnose der Fehlbildung zu stellen. Die Bildqualität wurde als sehr gut eingeschätzt.

Darstellung

Ein sehr wesentlicher Punkt bei der Verwendung digitaler Bilder für die Diagnostik ist die Darstellung am Monitor.

Krupinski et al. verglichen die Aussagen von Radiologen und Pathologen bezüglich konventionell präsentierter und am Monitor dargestellter klinischer Bilder. Bei der Wiedergabe der radiologischen Bilder wurde ein 20“Monitor verwendet mit einer Größe von 1024 x 1538 pixel, bei 60 Hz Bildwiederholfrequenz. Für die Darstellung der pathologischen Bilder wurde ein Sony-Trinitron Monitor verwendet, mit 950 Zeilen (keine zusätzlichen Angaben). Dabei zeigte sich, je älter und erfahrener die Radiologen und Pathologen waren, desto eher bevorzugten sie die Konventionelle Darstellung. Aber je größer die Erfahrung beim Umgang mit Computern und digitalen Video-Systemen war, desto eher wurde die Darstellung am Monitor vorgezogen. So tendierten die jüngeren Radiologen und Pathologen zur Benutzung der Monitordarstellung (Krupinski et al. 1996).

Im Pathologischen Institut der amerikanischen Streitkräfte (AFIP) wurden für die Darstellung der digitalen pathologischen Befunde ebenfalls 20“Monitore verwendet (maximale Größe 1280 x 1024). Für die Darstellung von Bildern mit einer Größe von 750 x 500 pixel sind diese Monitore optimal (Mullik et al. 1996). Ebenso verwendeten Weinstein et al. bei ihren Studien 19“Monitore mit 1024 x 768 pixel (Weinstein et al. 1997b).

Bei der Untersuchung der Bildqualität der vorliegenden Arbeit wurden die Bilder an einem

21"Monitor präsentiert (1600 x 1200 pixel, 24 bpp Farbtiefe, 85 Hz Bildwiederholfrequenz).

Weitere wichtige Faktoren die bei der Beurteilung der digitalen Bilder eine Rolle spielen sind Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel direkte Lichteinstrahlung auf den Bildschirm, Lärm, schlechte Klimaverhältnisse (Kälte, Hitze) oder Platzmangel. Diese beeinträchtigen eine exakte Begutachtung der Bilder durch eine höhere Beanspruchung der Konzentration und Leistungsfähigkeit. Diese Faktoren wurden aber bei den vorgenommenen Studien nicht näher untersucht und im Versuchsablauf weitestgehend konstant gehalten.

5.3.2. Statische mikroskopische Bilder

Die Untersuchung der Bildqualität mikroskopischer Bilder war kein Schwerpunkt dieser Arbeit. Jedoch sollen die Kriterien für optimale mikroskopische Bilder analog zur Makroskopie diskutiert werden.

Aufnahme

Im Rahmen der mikroskopischen Begutachtung spielt die Qualität des Präparates und des Bildaufnahmesystems eine sehr wichtige Rolle.

Bereits bei der **Herstellung** des Präparates muss auf optimale Schnittdicke, Präparation und Färbung geachtet werden. Bei der Bildaufnahme ist neben der Qualität des Präparates, des **Mikroskops** und der angeschlossenen **Kamera** auch die Auswahl des entsprechenden **Bildbereiches** wichtig, der die Grundlage für die spätere Diagnostik darstellt (Weinstein et al. 1997b). Della Mea kommt zu dem Ergebnis, dass auch jüngere Pathologen Bilder auswählen können, die für spätere Diagnosen ausreichend informativ sind. Jedoch wird durchschnittlich eine höhere Bildanzahl ausgewählt (Della Mea et al. 1998b).

Nach P. Gombas ist für die Qualität des produzierten Bildes die Größe des aufzunehmenden Präparates wichtig, sowie die **Objektivgröße** und die Auflösung des entstehenden digitalen Bildes. Die Größe des Präparates, die Objektivgröße und die Auflösung des digitalen Bildes hängen eng zusammen (Gombas 2000).

Datenreduktion

Okomura et al. zeigten, dass mikroskopische Bilder ein höheres Farbspektrum aufweisen, als makroskopische Bilder. Aus diesem Grund führt die **Farbreduktion** bei mikroskopischen Bildern zu einer wesentlich geringeren Abnahme des Datenumfanges. Ebenso können mikroskopische Bilder nicht so stark komprimiert werden, wie makroskopische Bilder. Besonders schwierig ist das für mikroskopische Bilder, die bei einer sehr hohen Objektivvergrößerung aufgenommen wurden (Okomura et al. 1997).

Della Mea et al. komprimierten bereits 1996 mikroskopische Bilder mit JPEG, dabei verglichen sie **Kompressionsraten** von 1:8 und 1:15 mit den unkomprimierten Originalbildern. Es ergab sich kein sichtbarer Unterschied zwischen Original und komprimierten Bild. Das Bildmaterial setzte sich hauptsächlich aus Hämatoxylin / Eosin (HE) – Präparaten zusammen, die bei unterschiedlichen Vergrößerungen aufgenommen, gespeichert und komprimiert wurden. Ein Jahr später veröffentlichte die Arbeitsgruppe um Della Mea Kompressionsraten von 1:20 bis 1:30 ohne sichtbare Qualitätsverluste. Diesmal bestand das Bildmaterial aber aus dermatologischen Bildern von melanozytischen Läsionen. 1998 zeigte Della Mea, dass zytologische Bilder von Feinnadelbiopsien der Brust besser komprimierbar sind, als andere mikroskopische Bilder, und dass insgesamt in solchen Fällen weniger zytologischen Bilder benötigt werden (Della Mea et al. 1996/1998b).

Marcelo et al. verwendeten das JPEG-Verfahren, um mikroskopische Bilder mit einer Kompressionsrate von 1:10 zu komprimieren. Sie verglichen nach der Übersendung aller Bilder per E-Mail die komprimierten mit den unkomprimierten Bildern. Dabei kamen sie zu folgendem Ergebnis: durch die Kompression konnten die reduzierten Bilder sehr viel schneller versandt werden, als die Originale. Die mit JPEG komprimierten Bilder wurden

genauso akzeptiert, wie die Originalbilder, so dass sowohl an den unkomprimierten als auch an den komprimierten Bildern Diagnosen gestellt werden konnten. Dabei stellte sich heraus, dass die Fehldiagnosen, die an den komprimierten Bildern gestellt wurden, in gleicher Weise auch an den Originalen gestellt wurden. Schließlich konnte kein Unterschied zwischen unerfahrenen und erfahrenen Pathologen festgestellt werden (Marcelo et al. 2000).

Das WAVELET-Verfahren wird bisher in keiner Studie zu mikroskopischen Bildern erwähnt, es hat bis jetzt nur in der Radiologie, Ophthalmologie, Dermatologie und der makroskopischen Pathologie Anwendung gefunden.

Übertragung

Mehrere Studien haben gezeigt, dass mikroskopische Bilder gut übertragen werden können, ohne signifikante Verluste der morphologischen Details zu erleiden (Weinstein et al. 1997b).

Darstellung

Die Darstellung mikroskopischer Bilder erfordert hohe Ansprüche an den Monitor, neben der Größe spielen die Einstellungen eine wichtige Rolle (hohe Bildwiederholfrequenz, Auflösung, Farbtiefe etc.), vergleichbar mit den Anforderungen bei der Darstellung makroskopischer Bilder.

Im Gegensatz zu Marcelo (Marcelo et al. 2000) beobachteten Mullick et al, dass jüngere Pathologen, die oft schon viel Erfahrung im Umgang mit Computern und Video-Systemen mitbringen, viel leichter mit den telepathologischen Techniken umgehen. Der Grad der Übereinstimmung von Diagnosen am Monitor zu Diagnosen am Mikroskop ist bei jüngeren Pathologen höher, als bei älteren, erfahreneren Pathologen (Mullick et al. 1996).

5.3.3. Dynamische Bilder

In der Telepathologie wird pathologisches Material visualisiert und auf einem Monitor dargestellt. Dabei werden im Rahmen einer telepathologischen Konsultation hauptsächlich dynamische Bilder verwendet. Diesem Modus liegt in den meisten Fällen eine synchrone Kommunikation zugrunde. Jedoch können Video-Sequenzen auch aufgenommen und zusammen mit den Falldaten per E-Mail versandt werden. Die Verwendung dynamischer Bilder in der asynchronen Kommunikation ist aber eher eine Ausnahme. (siehe Kapitel 1.3.7 und 3.2.4)

Anwendung in der synchronen Kommunikation

Hier werden fast ausschließlich dynamische Bilder eingesetzt, so zum Beispiel bei der **Live-Falldemonstration**, bei der **Live-Sektion** oder bei der **Live-Mikroskopie**. Der Vorteil gegenüber dem Einsatz in der asynchronen Kommunikation ist einerseits die Möglichkeit, die Präsentation einer Fehlbildung interaktiv zu gestalten, andererseits kann der konsultierte Pathologe das Mikroskop selbst per Hand fernsteuern. Die Nachteile liegen eindeutig darin, dass sehr große Bildmengen versendet werden müssen (mehrere Bilder pro Sekunde), damit verbunden sind lange Transferzeiten und oftmals auch eine zeitliche Verschiebung zwischen Ton und Bild.

Anwendung in der asynchronen Kommunikation

Im asynchronen Kommunikationsmodus werden dynamische Bilder sehr selten eingesetzt, zum Beispiel zur **Demonstration der Fehlbildungen**. Die Vorteile gegenüber dem Einsatz in der synchronen Kommunikation sind die einmalige Versendung als E-Mail, damit müssen die Daten nur einmal geladen werden, und man kann dann Bild und Ton ohne Zeitverschiebung abspielen. Dagegen kann keine Interaktion oder Fernsteuerung erfolgen.

Vorteile gegenüber statischen Bildern

Durch den Einsatz dynamischer Bilder wird dem Betrachter der räumliche Eindruck einer Fehlbildung besser verständlich als durch eine Reihe statischer Bilder. Das Fallverständnis

wird erleichtert durch die sichtbaren und nachvollziehbaren Sektions- und Manipulationsabläufe. Mit steigender Erfahrung im Umgang mit dynamischen Bildern kann die Qualität der Diagnostik via Telepathologie gesteigert werden (Eide et al. 1992)

Nachteile gegenüber statischen Bildern

Da die Anwendung dynamischer Bilder sehr große Datenmengen mit sich bringt, müssen derzeit noch lange Transferzeiten in Kauf genommen werden, ebenso wird dadurch die Abspeicherung in einer Datenbank erschwert. Diese Nachteile können nur durch den Einsatz von teuren, aber sehr leistungsfähigen Systemen ausgeglichen werden (Black-Schaffner et al. 1995). Ebenso können nur vergleichbar geringe Auflösungen verwendet werden (PAL 762 x 508 pixel) (Loane et al. 1997, Hufnagl et al. 2000a) Jedoch reicht die Bildqualität bei einer Übertragungskapazität von 384 Kbit/s für die Diagnosestellung aus (Nordrum et al. 1996).

Della Mea et al. untersuchten 1999 die Routinefähigkeit eines dynamischen Telepathologiesystems. Dabei testeten sie das System mit 184 Routine-Fällen und verglichen die telepathologische Diagnose mit der anschließend am konventionellen Mikroskop erstellten Diagnose. Das Ergebnis zeigte 95% Übereinstimmung zwischen telepathologischer und konventioneller Diagnose (Della Mea et al. 1999b).

5.4. Anforderungen an den Routineeinsatz in der Fetalpathologie

Die Telepathologie erlaubt Pathologen die Konsultation eines Kollegen über geographische Grenzen hinweg (Nordrum 1996, Weinstein 1995, Kayser 2000b). Die Telepathologie hat sich in den letzten Jahren zunehmend aus der experimentellen Phase gelöst und Eingang in die Routine-Tätigkeit gefunden. Die Routinetauglichkeit konnte in mehreren Studien nachgewiesen werden (Eide et al. 1994, Weinstein et al. 1997b, Dunn et al. 1999, Szymas 2000, u.a.), wobei die Untersuchungen von Dunn et al. herauszuheben sind, da für die Evaluation eine sehr hohe Fallzahl (> 2200 Fälle) verwendet wurde.

5.4.1. Allgemeine Anforderungen an die Telepathologie

Ein häufig vorgebrachtes Argument gegen die Telepathologie ist die Vorstellung, dass durch diese Methode die Befundqualität leidet (Stolte 1999). Nicht nur durch den fehlenden Tasteindruck bei Zuschnitt und Sektion, sondern auch durch Auflösungsreduktion und Kompression digitaler Bilder würde eine adäquate Diagnostik behindert oder gar unmöglich gemacht.

Diese Kritikpunkte können nicht bestätigt werden. Zum einen wird beim Zuschnitt das operativ entnommene Gewebe durch den Chirurgen unter Aufsicht eines Pathologen via Videokonferenz durchgeführt. Zum anderen wird ein wenig erfahrener Pathologe, der in mehreren Fällen bereits Sektionen selbstständig durchgeführt hat, von einem erfahrenen Kollegen per Videokonferenz assistiert (Dietel et al. 2001). Mehrfach durchgeführte Analysen zeigen, dass eine adäquate Bildqualität erreicht werden kann, wenn im Rahmen festgelegter Bildqualitätsgrenzen gearbeitet wird (Okomura 1997, Yogesan et al. 1998, Daniel 2000, u.a.).

Generelle Anforderungen, die an die Telepathologie gestellt werden müssen und die den potentiellen Gebrauch in der Routine beeinflussen, sind:

- Ausgezeichnete Bildqualität für Diagnostik und Auswertung
- Gut strukturierte Falldatenbank
- Hinreichend große Qualität und Geschwindigkeit der Übertragung (Netzwerk)
- Integration in die Routineabläufe, möglichst ohne große Umstellung der Tätigkeiten

- Einheitliche technische Standards, die einen Datenaustausch zwischen verschiedenen Telepathologie-Systemen ermöglichen
- Hohe Systemstabilität
- Einfache Bedienbarkeit und Datengewinnung
- Ausreichende Erfahrung und genügend hoher Ausbildungsstand des bedienenden Pathologen (Kayser et al. 1999b)

Diese Faktoren können in zwei Gruppen unterteilt werden:

Technische Anforderungen	***Individuelle Anforderungen***
- Hardware	- Individueller Workflow
- Software	- vorhandenes Material / Technik
- Netzwerk	- Ausbildung
- Bildqualität	- Erfahrung
- Standards	

Je nach Einsatzgebiet müssen unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt werden. Für die Anwendung der Telepathologie in der fetalen Diagnostik gelten spezielle Anforderungen, da die makroskopische Tätigkeit bei der Sektion im Vordergrund steht.

5.4.2. Spezifische Anforderungen an die Telepathologie

Damit die Telepathologie den neuen Ansprüchen speziell in der Fetalpathologie gerecht werden kann, müssen die Anforderungen spezifisch gewichtet werden.

Für die Beurteilung des besonderen Materials in der Fetalpathologie (kleine Organe, zarte Strukturen) müssen besondere Anforderungen an die Bildaufnahmegeräte gestellt werden. So wird neben dem Makroskop und dem Mikroskop ein Stereomikroskop benötigt, welches sich besonders für die Untersuchung kleinster Strukturen eignet.
Diese Geräte sollten Bestandteil des eingesetzten Telepathologiesystems und möglichst unabhängig voneinander steuerbar sein. Der abwechselnde Gebrauch von Makroskop und Stereomikroskop sollte problemlos ermöglicht werden.

Von der Software muss allgemein gefordert werden, dass sie einfach und intuitiv zu bedienen ist. Die einzelnen Arbeitsschritte, Fallannahme, Sektionsplanung, Sektion und Befundeinordnung müssen durch das Telepathologie-System begleitet und unterstützt werden.
Für die gezielte Autopsie von Feten sollte der Zugriff auf eine interdisziplinäre Datenbank möglich sein, sofern diese nicht schon Bestandteil des konventionellen Arbeitsplatzes ist. Der Import von Vorbefunden oder Anamnesedaten sollte gleichzeitig erfolgen können. Somit können wichtige Patienteninformationen jederzeit zur Diagnostik herangezogen werden (Tennstedt et al. 2001c).
Für die Dokumentation sollten die entsprechenden Bildbefunde und Diagnosen in einer Falldatenbank gespeichert werden können. So können wichtige Befunde zu einem späteren Zeitpunkt z.B. für juristische Fragestellungen herausgesucht werden. Ebenso stehen die Befunde für Lehr- und Weiterbildungszwecke zur Verfügung (Dietel et al. 2001).

5.5. Eignung des TPS für die Fetalpathologie

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass die Möglichkeiten, die das Telepathologie-System TPS bietet, für die Aufgaben in der Fetalpathologie geeignet sind (Tennstedt et al. 1997, Tennstedt et al. 2000b, Wehrstedt et al. 2000a/b). In den folgenden Abschnitten werden die Einsatzmöglichkeiten des TPS in der Routine der Fetalpathologie veranschaulicht und die Ergebnisse der durchgeführten Studien diskutiert.

5.5.1. Sektionsüberwachung - Autopsiestudie

Die Durchführung der Autopsiestudie (Studie II) diente der Analyse der Supervision eines wenig erfahrenen Pathologen während einer Sektion. Für die Präsentation der Fehlbildungen wurden sowohl ein Makroskop, als auch ein Stereomikroskop verwendet, so dass anhand der übertragenen Bilder die weitere Sektionsstrategie diskutiert werden konnte. Das TPS bot die Möglichkeit spezifische Bildbefunde abzuspeichern, um diese zu einem späteren Zeitpunkt als Diskussionsgrundlage zu verwenden. Mit Hilfe des telepathologischen Systems TPS konnten alle Probleme geklärt werden, ohne dass der erfahrene Pathologe im Sektionssaal anwesend sein musste. Die Anwesenheit eines technischen Assistenten war nicht unbedingt notwendig, aber recht hilfreich.

Im Vergleich zur konventionellen Konsultation konnte so sehr viel Zeit gespart werden, ohne dass entscheidende qualitative Einbußen sichtbar wurden (vgl. Tab. 23-25). (Wehrstedt et al. 2001)

5.5.2. Zweite Meinung - Herzstudie

Das Ziel der Herzstudie (Studie III) war der Einsatz des TPS beim Einholen einer Zweiten Meinung. Dies geschah durch das Versenden vorbereiteter Fälle per E-Mail (als Fallmaterial dienten Fälle angeborener Herzfehlbildungen, siehe Kapitel 3.4.2), wobei das TPS für die Aufnahme und Speicherung der Bilder in einer Falldatenbank während der Autopsie verwendet wurde. Im Anschluss erfolgte die Aufbereitung der Falldaten und Vorbereitung für den Versand. Dafür wurden spezielle Eingabemasken in PowerPoint erstellt, wodurch eine einheitliche Struktur der Fallpräsentation gewährleistet werden konnte. Die Bilder wurden beschriftet, einzelne Strukturen markiert und mit Maßstab versehen. Die E-Mails wurden gleichzeitig an mehrere Experten versendet, mit der Bitte um eine Zweite Meinung.
Die konsultierten Experten konnten alle Fälle diagnostizieren, wobei sie den Inhalt, die Struktur sowie die Qualität der Bilder als sehr gut einschätzten (Tennstedt et al. 2000b).

Die Vorteile des Einholens einer zweiten Meinung durch das Versenden einer E-Mail an mehrere Experten wurden schon in mehreren Publikationen dargestellt (Della Mea et al. 1996b, Nordrum et al. 1998b, Szymas 2000).
Bei der Auswertung der Herzstudie zeigte sich, dass das Einholen der zweiten Meinung mittels Telepathologie etwa 1-2 Tage (angefangen bei der Sektion, dem Aufbereiten und Absenden der E-Mail, bis hin zur Antwort des Experten) dauert, während man bei konventioneller Verfahrensweise unter Umständen 1-2 Wochen auf die Antwort des Experten wartet.

5.5.3. Konsensfindung durch Telepathologie

Die Konsensfindung spielt bei der Klassifikation von schwierigen Fällen eine wichtige Rolle. Mit Hilfe der Telepathologie kann eine Konsensfindung auf unterschiedliche Weise erfolgen. Zum einen durch eine Live-Konsultation mehrerer Experten, zum anderen durch gleichzeitige Versendung der Falldaten per E-Mail an mehrere Experten. Somit stehen für die Konsensfindung die gleichen Möglichkeiten wie bei der Sektionsüberwachung und beim Einholen einer zweiten Meinung zur Verfügung. Am Ende der Konsensfindung steht die Klassifikation des Fehlbildungsmusters des vorliegenden Falles.
Der in der Fetalpathologie tätige Pathologe kann sich mit seiner speziellen Fragestellung an ein bestehendes Telepathologie-Konsultationszentrum wenden (Hufnagl et al. 2001b). Dabei kann die Fragestellung sowohl per E-Mail (z.B. Konsultationszentrum des AFIP) versendet, als auch über entsprechende Internetseiten eingegeben werden (z.B. TPCC) (Dietel et al. 2000a).

Die Entstehung eines Konsultationszentrums für Fetalpathologie wäre eine wünschenswerte

Initiative (Tennstedt et al. 2001a/b).

5.5.4. Stand der Telepathologie in der Fetalpathologie

Aktuelle Literaturrecherchen zeigen, dass es bisher noch keine Veröffentlichungen zum Einsatz der Telepathologie in der fetalen Diagnostik gibt. Bestimmte Techniken der Telepathologie können jedoch in der Fetalpathologie gut eingesetzt werden. So kann beispielsweise ein Makroskop, welches derzeit beim Zuschnitt in der Schnellschnittdiagnostik eingesetzt wird, und über eine angeschlossene Kamera eine Video-Überwachung ermöglicht (Kayser 1993, Adachi et al. 1996, Dusserre et al. 1997, Dunn et al. 1997a), für die Beurteilung fetaler Organe verwendet werden. Die Qualität der Bilder ist für den Zuschnitt sehr gut, selbst detaillierte Organstrukturen können beurteilt werden (Dietel et al. 2001).

Leong et al. beschreiben das Telepathologie-System HISTOVISION. Dieses integriert, ähnlich wie das TPS Scanner, Makroskop, Mikroskop mit Videokamera, Digitalwaage und Drucker. Die Software ermöglicht die Erfassung der Patientendaten über Formulare, Eingabe von Fallanfragen, Aufnahme der Bilder von makroskopischen und mikroskopischen Geweben, sowie Formulare für Diagnose und Notizen. Durch die Verwendung von Falldatenbanken können retrospektive Untersuchungen vorgenommen werden (Leong et al. 2000).

Die Anwendung des Telepathologie-Systems TPS im Routineeinsatz der Fetalpathologie zeigt, dass man den speziellen Anforderungen gerecht werden kann (Tennstedt et al. 1997, 2000b; Wehrstedt et al. 2000b). Diagnostische Probleme während der Autopsie konnten durch Konsultation eines Kollegen mit Hilfe der Telepathologie geklärt werden, ohne dass ein erfahrener Pathologe im Sektionssaal anwesend war. Die Anwesenheit eines Assistenten war sehr nützlich, aber nicht unbedingt notwendig. Man war dadurch in der Lage, die Sektionstätigkeit sowie die Präsentation der Fehlbildungen von der Bedienung der technischen Geräte zu trennen (Wehrstedt et al. 2000b). Die Verwendung statischer und dynamischer Bilder ermöglichte eine erfolgreiche Telepathologie-Konsultation während der Autopsie.
Die fehlende Fernsteuerbarkeit von Makroskop und Stereomikroskop wirkte sich nicht negativ auf die Qualität der Diagnostik aus. Jedoch war es manchmal schwierig die aktuelle Vergrößerung des makroskopischen Objektes am Monitor zu bestimmen, da das Maßband oder eingesetzte Lineale schwer zu positionieren waren.
Dieses Problem wäre durch die Verwendung fernsteuerbarer Geräte prinzipiell lösbar.

Für den Einsatz in der Fetalpathologie eignen sich neben dem TPS und dem HISTOVISON prinzipiell weitere aktuell vorhandene Telepathologie-Systeme. So zum Beispiel das HISTKOM System der Deutschen Telekom (Schwarzmann et al. 2000) oder die Telepathologie-Lösung von Nikon (NIKON-ZEM-Dynamic), Zeiss oder Olympus (MIGRA) (Ganslandt et al. 2000). Diese Systeme integrieren sowohl ein Makroskop als auch ein Mikroskop - für den Zuschnitt von Organen und die histologische Begutachtung. Des weiteren können die Befunde in Falldatenbanken eingegeben werden. Jedoch zeigte sich bei der Vorführung der einzelnen Systeme auf Pathologie-Kongressen, dass wesentliche Abläufe nicht ausreichend geplant wurden, also eine Integration in die Routinetätigkeit nur erschwert möglich ist (Kayser et al. 2000b).
Diese Systeme werden bislang nur für histologische Untersuchungen verwendet. Anwendungen in der makroskopischen Diagnostik wurden nicht beschrieben, ausgenommen ist der Zuschnitt in der primären Schnellschnittdiagnostik.

5.6. Panorama Telepathologie

Die Entwicklung der Telepathologie hat vor ein paar Jahrzehnten begonnen und diese Technik wird bereits heute in einigen Ländern in der Routinepathologie eingesetzt (Eide et al. 1992, et al. 1999, Weinstein et al. 1997b). Der Routineeinsatz konzentriert sich aber bisher auf das Einholen einer Zweiten Meinung bei der mikroskopischen Diagnostik, auf die Überwachung des makroskopischen Zuschnitts und die Beurteilung von mikroskopischen Präparaten im Rahmen von Schnellschnitt-Untersuchungen (Hufnagl 2000a).

Die rasanten Entwicklungen in den letzten beiden Jahrzehnten auf dem Gebiet der Telepathologie deuten möglicherweise auf einen Wandel der generellen Arbeitsabläufe in der Pathologie. Dies wird vor allem die histologische Diagnostik betreffen (vgl. Virtual Slide, siehe 5.6.2 Ausblick), jedoch in einem gewissen Maß auch die Fetalpathologie. Insgesamt wird dies sicherlich von der allgemeinen Akzeptanz und wichtigen Nebenbedingungen abhängen, wie etwa die Abrechenbarkeit telepathologischer Dienstleistungen, sowie die eindeutige Klärung juristischer Grundlagen (Dierks 2000).

Die Vorteile, die der Einsatz der Telepathologie in der fetalen Diagnostik mit sich bringen kann, sollten nicht unterschätzt werden. Der wichtigste Punkt, neben dem Zugriff auf interdisziplinäre Datenbanken für eine optimale Sektionsvorbereitung und die Abspeicherung der Befunde in einer Falldatenbank für spätere Untersuchungen, ist die Möglichkeit, schnell und einfach entfernt tätige Experten zu konsultieren. Dadurch kann die Qualität der Diagnostik in der Fetalpathologie erheblich verbessert werden.
Abbildungen von seltenen Fehlbildungen, die in einer Falldatenbank gespeichert werden, können für die Ausbildung von Pathologen als Lehrmaterial dienen oder als Referenzfälle verwendet werden.

5.6.1. Verbesserungsmöglichkeiten

Trotz der schnellen Entwicklung der Telepathologie in den letzten Jahren, bestehen noch viele Probleme, die einen breiteren Einsatz behindern.

Kompatible Systeme

Die Integration telepathologischer Systeme in die Routine, dabei die Anpassung an individuelle Abläufe vorausgesetzt, wird erheblich durch verschiedene herstellerabhängige Systeme erschwert (Ganslandt 2000). Diese unterstützen nur in geringem Umfang, oft jedoch gar nicht standardisierte Schnittstellen, wie z.B. HL7, DICOM oder H.323. Die einzelnen Systeme können bisher nur ganz bestimmte Mikroskop-Typen „ansprechen". Ebenso können Informationen (z.B. Falldaten, Bildmaterial etc.) zwischen verschiedenen Telepathologie-Systemen nicht ohne weiteres ausgetauscht werden. Zur Zeit existieren eine geringe Anzahl pathologischer Institute mit eigenen Telepathologie-Lösungen, welche untereinander nicht kompatibel sind und ein Datenaustausch derzeit noch unmöglich ist.
Für einen breiteren Einsatz der Telepathologie ist daher die Unterstützung standardisierter Schnittstellen zu fordern, die das Ansprechen verschiedener Hardware-Geräte und die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Telepathologie-Systemen ermöglichen.

Hohe Bandbreite oder automatische Kompression

Ein generelles Problem bei der Versendung von Daten ist die mangelnde Bandbreite. Da in der Telepathologie große Datenmengen (insbesondere Bilddaten) versendet werden müssen, ist die Bandbreite oft ein limitierender Faktor. Damit der Einsatz der Telepathologie praktikabel wird, müssen die Datenmengen reduziert werden, ohne die Qualität sichtbar zu verschlechtern. Dies wird in den meisten Fällen durch Kompression erreicht, die manuell durch den Pathologen vorgenommen wird. Das bedeutet, dass je nach Bildinhalt (makroskopisch, mikroskopisch etc.) eine andere Kompressionsrate einzustellen ist. Hier

würde eine automatische Ermittlung der optimalen Kompressionsrate und die anschließende Kompression, sowie eine automatische Qualitätskontrolle des Kompressionsvorganges den Arbeitsaufwand erheblich reduzieren.

Optisches Mess-System

Momentan ist es sehr schwer die reale Größe des makroskopischen Präparates am Monitor einzuschätzen, da das Positionieren von entsprechenden Maßstäben nicht sehr einfach ist, oder da verwendete Lineale durch die Aufnahmebedingungen schlecht ablesbar sind. Hier wäre die Entwicklung eines optischen Mess-Systems ideal. Prinzipiell kann dies auch über die Umrechnung der Vergrößerung auf die aktuelle Größe des abgebildeten Objektes erfolgen.

Interaktive Zeigevorrichtung

Ein weiterer Vorschlag zur Verbesserung der telepathologischen Arbeit ist die Entwicklung einer interaktiven Zeigevorrichtung am makroskopischen Präparat (z.B. Laserpointer). Der konsultierte Pathologe kann sich verständlich machen, indem er einen Laserpointer interaktiv fernsteuert, ähnlich der Fernsteuerung des Objekttisches des Mikroskops. Der Pathologe vor Ort wäre somit in der Lage, Manipulationen am Präparat vorzunehmen, ohne dabei die Anweisungen des konsultierten Kollegen auf dem Monitor zu beobachten. Wichtige Punkte werden auf dem makroskopischen Präparat durch den Laserpointer markiert.

Ausbildungsmodule

Für die Aus- und Weiterbildung in der Pathologie oder speziell in der Fetalpathologie könnte die Integration von Ausbildungsmodulen in ein Telepathologie-System dienen. Typische Fehlbildungen oder seltene Fehlbildungsmuster werden in einer Datenbank gespeichert und in einer entsprechend aufbereiteten Form präsentiert. Denkbar sind auch interaktive Anleitungen bei bestimmten Autopsieschritten.

5.6.2. Ausblick

Betrachtet man die technischen Fortschritte bei der Entwicklung von Computersystemen in den letzten Jahren, so liegt es nahe, einen Ausblick mit Lösungsansätzen für aktuelle Probleme zu geben.

Fernbedienung von Stereomikroskop und Makroskop

Bisher ist eine Fernsteuerbarkeit von Makroskop oder Stereomikroskop nicht möglich. Denkbar wäre die Kamera ferngesteuert zu schwenken oder an das Präparat heran zu zoomen. In gleichem Maße könnte die Regelung von Helligkeit und Kontrast erfolgen. Eine Entwicklung von fernsteuerbaren Greifarmen für eine interaktive Manipulation des Präparates wäre bei der Obduktion formalinfixierter Embryonen oder Feten hilfreich.

Selektive Bildkompression oder hohe Bandbreite

Bruckmann et al. analysierten die Möglichkeiten und Grenzen von selektiven Bildkompressionen. Das bedeutet, dass für die Diagnostik relevante Bildbereiche von der Kompression ausgeschlossen werden, und der restliche Teil des Bildes mit einer hohen Kompressionsrate komprimiert wird. Der Vorteil liegt in der Reduktion des Datenmaterials ohne Informationsverlust in wichtigen Bereichen des Bildes. Die Selektion der wichtigen Bereiche kann unter Umstanden, speziell in der Mikroskopie nicht ganz einfach sein.
Jedoch ist es denkbar, dass in naher Zukunft die Bandbreite keine Rolle mehr spielen wird, also Versuche bezüglich der Reduktion des Datenumfanges an Bedeutung verlieren werden. Das Versenden von hochauflösenden, nicht komprimierten dynamischen Bildern wird in der Praxis zur Verbesserung der Diagnostik beitragen und keine Frage der Bandbreite sein.

Die folgenden Ideen für zukünftige Verbesserungen in der Telepathologie werden zum Teil

bereits in der Radiologie, Orthopädie oder Chirurgie eingesetzt. Durch digitale Umrechnung und Zusammensetzung von CT- und MRT-Daten lassen sich komplette Nachbildungen von Organen oder Tumorinfiltrationen am Computer darstellen (Baur et al. 1998).

Der Voxelman sei hier nur als Beispiel für den Einsatz in der Ausbildung genannt. Besonders interessant ist aber die Anwendung in der Operationsplanung, beispielsweise bei der Entfernungen von Hirntumoren. Coma et al. Beschreiben eine Reihe der Einsatzgebiete von drei-dimensionalen Darstellungen anatomischer und pathologischer Formen (Coma et al. 1999), jedoch soll noch ganz kurz die Möglichkeit für die Pathologie erläutert werden:

Furness et al. geben ein einfaches Verfahren an, ein 3D-Bild aus mehreren digitalen Bildern durch Zusammenrechnung der Einzelbilder zu erstellen (Furness 1997).
Durch die 3D-Rekonstruktion der Organe des Feten (durch Umrechnung aus CT- und MRT-Daten) könnte vor der Sektion eine detaillierte Information über den pathologischen Befund gegeben werden, so dass in speziellen komplizierten und seltenen Fällen eine exakte Sektionsüberwachung möglich ist.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Einsetzbarkeit telepathologischer Techniken in der Fetalpathologie zu untersuchen und zu bewerten. Für die Untersuchungen wurde das Telepathologie-System TPS verwendet, welches in Zusammenarbeit vom Institut für Pathologie und der Abteilung Pränatale Diagnostik der Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe des Universitätsklinikums Charité zu Berlin mit der Firma Leica Microsystems Wetzlar GmbH entwickelt wurde.
Die Untersuchungen zeigten, dass der Einsatz der Telepathologie in der Fetalpathologie prinzipiell möglich ist. Es wurden dabei folgende Fragen geklärt:

1. Sind telepathologische Techniken zur Bewältigung der steigenden Anforderungen an die Fetalpathologie anwendbar?

In der Fetalpathologie kommen zunehmend kleinere Feten aus sehr frühen Schwangerschaftswochen zur Autopsie. Mit Hilfe von Makroskop und Stereomikroskop kann der Fetalpathologe entsprechende Vergrößerungen von „Minibefunden" vornehmen. Sind diese Geräte an ein Telepathologiesystem angeschlossen, können wichtige Befunde dokumentiert und zu einem späteren Zeitpunkt für die Diagnostik verwendet werden.

Die Anzahl genetisch bestimmbarer komplexer Fehlbildungsmuster und Syndrome nimmt ständig zu. Dadurch wird vom Fetalpathologen ein hohes Maß an Erfahrung und Wissen vorausgesetzt. Es gibt jedoch weltweit nur eine geringe Anzahl von Experten auf dem Gebiet der Fetalpathologie. Somit ist eine konventionelle Konsultation mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Mit Hilfe der Telepathologie werden die geographischen Distanzen zu den Experten schnell überwunden. Die Konsultationszeiten von einigen Wochen können so auf etwa 1-2 Tage reduziert werden.

2. Wo liegen die Möglichkeiten und Grenzen der Telepathologie im Vergleich zur konventionellen Konsultation in der Fetalpathologie?

Das Telepathologie-System TPS wurde im Rahmen von 2 Fallstudien in die fetalpathologischen Arbeitsabläufe integriert. Die Vor- und Nachteile gegenüber konventionellen Methoden wurden im Abschnitt 4.2. ausführlich dargestellt und hier kurz zusammengefasst:

Zeiteinsparung gegenüber der konventionellen Vorgehensweise

Verbesserung der Qualität der Diagnosen durch Einsatz der Telepathologie

Autopsieplanung durch den Zugriff auf interdisziplinäre Datenbanken

Falldokumentation parallel zur Autopsie möglich, wichtige Bildbefunde können sofort abgespeichert werden

Limitierende technische Faktoren sind:

Fehlen einer ausreichenden Bandbreite

mangelnde Kompatibilität, da internationale Standards nicht unterstützt werden.

Integration in vorhandene Arbeitsabläufe ist nicht einfach, da hochkomplexe Systeme

Bedienung der Telepathologie-Systeme setzt hinreichende Erfahrung voraus, die aber erlernt werden kann

3. Welche Anforderungen sind an die Qualität der übertragenen Bilder zu stellen, um eine exakte Diagnostik zu gewährleisten, und wie hängt das von den optischen Bedingungen und den untersuchten Strukturen ab?

Damit Telepathologie-Systeme im Routineeinsatz praktikabel sind, muss wegen der relativ geringen Bandbreite eine Reduktion des Datenumfanges insbesondere des zu versendenden Bildmaterials vorgenommen werden. Dabei muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen höchstmöglicher Datenreduktion für einen schnellen Datentransfer und minimalen

Qualitätsverlusten für eine hinreichend sichere Diagnose. Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit beschränkten sich auf die Reduktion der Auflösung und die Kompression makroskopischer Bilder mit JPEG und WAVELET, im Hinblick auf die Qualitätsänderung der komprimierten Bilder.

Die Ergebnisse zeigen, dass Auflösungen, abhängig von der Vergrößerung, zwischen 1200 dpi und 700 dpi ohne subjektiven Qualitätsverlust akzeptabel sind (siehe 4.1).

Es zeigte sich ebenfalls, dass mit JPEG Kompressionsraten von 1:100-110 ohne subjektiven Qualitätsverlust möglich sind, während mit dem WAVELET Verfahren Kompressionsraten von 1:100 bis etwa 1: 140 toleriert werden können.

Damit aber schon vor der Datenreduktion optimale Bilder vorhanden sind, stehen dem Pathologen bereits bei der Bildaufnahme mehrere Einflussmöglichkeiten zur Verfügung. Im Abschnitt 4.1 sind diese Einflussmöglichkeiten detailliert aufgeführt, während diese hier nur kurz genannt werden sollen:

Beleuchtungsbedingungen bereits bei der Präparation und Bildaufnahme

Qualität der verwendeten Kamera

Zustand der Organe: leichtere Positionierung von formalinfixierten Organen, und ebenso geringere Glanzeffekte auf deren Oberfläche

4. Welche Anforderungen sind an telepathologische Lösungen zu stellen, um sie in der Routine einsetzen zu können?

Damit telepathologische Systeme ihren Weg in die Routine finden, sollten wichtige Punkte erfüllt sein.

Einfache Integration in bestehende Arbeitsabläufe

Funktionsfähig bei minimalen Systemvoraussetzungen

Unterstützung von allgemeingültigen Standards

Anschluss an interdisziplinäre Datenbanken

Beachtung von Datenschutz- und Sicherheit

Schutz vor unberechtigtem Zugriff/Benutzerverwaltung

Einfache und intuitive Bedienung

Die Telepathologie-Systeme müssen eine qualitativ hochwertige Diagnostik ermöglichen. D.h. dass keine Fehldiagnosen durch mangelhafte Bildqualität oder fehlerhafte Befundübertragung etc. erfolgen können. Dies setzt eine Qualitätskontrolle des Telepathologie-Systems z.B. hinsichtlich der Qualität der übertragenen Bilder voraus.

Die Telepathologie wird einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Fetalpathologie leisten, weil:

eine Sektionsüberwachung ermöglicht wird

Nationale und internationale Expertenkonsultationen bei der Lösung seltener und schwieriger Fälle hilfreich sein können

Lehrmaterial für die Aus- und Weiterbildung leicht erstellt werden kann

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Telepathologie entscheidend zur Lösung der neuen Anforderungen in der Fetalpathologie beitragen kann. Diese neue Technik wird sich in den nächsten Jahren weiter entwickeln, und viele Probleme, die heute im Vordergrund stehen werden gelöst werden.

7. Literatur

1. Adachi H., Inoue J., Nozu T., Aoki H., Ito H.; 1996; Frozen-section services by telepathology: experience of 100 cases in the San-in District, Japan; Pathol.Int.; *46*; 436-441
2. Baur C., Guzzoni D., Georg O.; 1998; VIRGY: a virtual reality and force feedback based endoscopic surgery simulator; Stud.Health Technol.Inform.; *50*; 110-116
3. Berghorn W.; Boskamp T.; Schönfeld S., Stark H.G.; 2000.; Winzig mit Wavelets; CT; *26*;
4. Bittorf A., Fartasch M., Schuler G., Diepgen T. L.; 1997; Resolution requirements for digital images in dermatology; J.Am.Acad.Dermatol.; *37*; 195-198
5. Black-Schaffer S., Flotte T. J.; 1995; Current issues in telepathology; Telemed.J.; *1*; 95-106
6. Bollmann R., Chaoui R., Kalache K.; 1997; Pränatale Diagnostik und Therapie an der Universitäts-Frauenklinik der Charité. Humboldt-Spektrum *2*: 12-18.
7. Brennecke R., Bürgel U., Simon R.; 2000; Measurement of Image Quality Differences at varying Levels of Data compression; Journal of American College of Cardiology; *35 (5)*; 4-1
8. Bruckmann A., Uhl A.; 2000; Selective medical image compression techniques for telemedical and archiving applications; Computers in Biology and Medicine; *30;* 153-169
9. Coma C. M., Pena H. J.; 1999; [Quo vadis telemedicine?] Quo vadis telemedicina?; Rev.Neurol.; *29*; 478-483
10. Daniel D., Schlesner J., Wehrstedt K., Hufnagl P., Dietel M.; 2000; Influence of image resolution on image quality in telepathology; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*
11. Della Mea V., Puglisi F., Forti S., Bellutta P., Finato N., Mauri F., Dalla Palma P., Beltrami C. A.; 1996a; Telepathology through the Internet; J.Telemed.Telecare.; *2 Suppl 1*; 24-26
12. Della Mea V., Puglisi F., Forti S., Bellutta P., Finato N., Mauri F., Dalla Palma P., Beltrami C. A.; 1996b; Telepathology using Internet multimedia electronic mail: remote consultation on gastrointestinal pathology; J.Telemed.Telecare.; *2*; 28-34
13. Della Mea V., Puglisi F., Forti S., Bellutta P., Finato N., Mauri F., Dalla Palma P., Beltrami C. A.; 1997; Expert pathology consultation through the Internet: melanoma versus benign melanocytic tumours; J.Telemed.Telecare.; *3 Suppl 1*; 17-19
14. Della Mea V., Beltrami C. A.; 1998a; Telepathology applications of the Internet multimedia electronic mail; Med.Inform.(Lond.); *23 (7)*; 237-244
15. Della Mea V.; 1998b; Image acquisition devices for telepathology; Adv.Clin.Path.; *2 (4)*; 169-170
16. Della M. V.; 1999a.;Telepathology and the Internet; Telemed.Today; 17-18
17. Della Mea V., Cataldi P., Pertoldi B., Beltrami C. A.; 1999b; Dynamic robotic telepathology: a preliminary evaluation on frozen sections, histology and cytology; J.Telemed.Telecare; *5 Suppl 1*; 55-56
18. Della Mea V., Cataldi P., Pertoldi B., Beltrami C. A.; 2000; Combining dynamic and static robotic telepathology: a report on 184 consecutive cases of frozen sections, histology and cytology; Anal.Cell Pathol.; *20*

19. Dierks C.; 2000; Legal aspects of telepathology; Anal. Cell. Pathol.; *21 (2000)*, 97-99

20. Dietel M., Nguyen-Dobinsky T.N., Hufnagl P.; 2000a; The UICC Telepathology Consultation Center – International Union Against Cancer, A global approach to improving consultation for pathologist in cancer diagnosis; Cancer 2000; *89 (1)*; 187-191

21. Dietel M., Dierks C., Hufnagl P., Schlag P.M.; 2000b; Auto gegen Pferd – zur Schnellschnitt-Diagnostik per Telepathologie; Der Pathologe; *21*; 391-395

22. Dietel M., Hufnagl P.; 2001; Electronic communication in medicine; Z.Ärztl.Fortbildg.Qualitätssich.; *95 (9)*; 596-600

23. Dietzel G. T. W.; 2000; Chancen und Probleme der Telematik-Entwicklung in Deutschland; Telemedizinführer Deutschland, Bad Nauheim, 14-19

24. Doolittle M. H.; Doolittle K. W.; Winkelman Z. Weinberg D. S.; 1997, Color images in telepathology: how many colors do we need?; Hum.Pathol.*; 28 (1);* 36-41

25. Dunn B. E., Almagro U. A., Choi H., Recla D. L., Weinstein R. S.; 1997a; Use of telepathology for routine surgical pathology review in a test bed in the Department of Veterans Affairs; Telemed.J.; *3*; 1-10

26. Dunn B. E., Almagro U. A., Choi H., Sheth N. K., Arnold J. S., Recla D. L., Krupinski E. A., Graham A. R., Weinstein R. S.; 1997b; Dynamic-robotic telepathology: Department of Veterans Affairs feasibility study; Hum.Pathol.; *28*; 8-12

27. Dunn B. E., Choi H., Almagro U. A., Recla D. L., Krupinski E. A., Weinstein R. S.. Related Articles; 1999; Routine surgical telepathology in the Department of Veterans Affairs: experience-related improvements in pathologist performance in 2200 cases.; Telemed J.; *5 (4)*; 323-37.

28. Dusserre P., Allaert F. A., Dusserre L.; 1997; Basic rules for the security of frozen section diagnosis through image transmission between anatomo-pathologists; Stud.Health Technol.Inform.; *43*; 171-175

29. Eide T. J., Nordrum I., Stalsberg H.; 1992; The validity of frozen section diagnosis based on video-microscopy; Zentralbl.Pathol.; *138*; 405-407

30. Eide T. J., Nordrum I.; 1994; Current status of telepathology; APMIS; *102;* 881-890

31. Eikelboom R. H., Yogesan K., Barry C. J., Constable I. J., Tay-Kearney M. L., Jitskaia L.; 2001; Methods and limits of digital image compression of retinal images for telemedicine; Invest.Ophthalmol. Vis. Sci.; *41 (7)*; 1916-1924

32. Eusebi V., Foschini L., Erde S., Rosai J.; 1997; Transkontinental Consults in surgical pathology via the Internet; Hum.Pathol.; *28*; 13-16

33. Furness, P. N.; 1997;The use of digital images in pathology; J.Pathol.; *183*; 253-263

34. Ganslandt T., Korsching E., Muller M. L. , Herbst H., Spiegel H. U., Prokosch H. U. Senninger N.; 2000.; Telepathology network: conceptual groundwork and evaluation. Stud Health Technol Inform; *77;* 1122-1126.

35. Gerth C., Garcia S., Ma M., Keltner J., Werner J.S.; 2001; Multifokales ERG: Altersabhängige Veränderungen in Abhängigkeit von der Leuchtdichte; 99. Jahrestagung der DOG; 29.09-02.10.2001, Berlin

36. Gombas P.; 2000; Can static telepathology be a trusted method for the communication of pathological information? The image pyramid.; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*

37. Haroske G., Meyer W., Oberholzer M., Bocking A., Kunze K. D.; 2000; Competence on demand in DNA image cytometry; Pathol.Res.Pract.; *196 (5)*; 285-291

38. Hufnagl P.; 1999; Systemetik in der Telepathologie; Arbeitspapier

39. Hufnagl P., Graschew G., Rakowsky S., Haensch W., Schlag P. M., and Dietel M.; 2000a; Second opinion telepathology on frozen sections as part of daily routine in a university institute; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (2)*

40. Hufnagl P. and Nguyen-Dobinsky T. N.; 2000b; Telepathology using TPS; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*

41. Hufnagl P., Nguyen-Dobinsky T. N., Stock B., Fiedler F., Dietel M.; 2000c. Das Telepathologiesystem TPS 1 für Routine-Telepathologie. Pathol Res Pract *196*: 450.

42. Hufnagl P., Bayer G., Oberbarnscheidt P., Wehrstedt K., Guski H., Hauptmann S., Dietel M.; 2001; Comparison of different telepathology solutions for primary frozen section diagnostic; Anal.Cell. Pathol.; *21*; 161-167

43. Hufnagl P., Renz V., Gardziella S., Nguyen-Dobinsky T. N., Guski H., Hauptmann S., Dietel M.; 2001b; Are telepathology consultation centers in the Internet a valid alternative to get a second opinion?; Electronic Journal of Pathology and Histology; *7 (1)*, 012-03

44. Iyriboz T. A.; Zukoski M. J., Hopper K. D., Stagg, P. L.; 1999; A comparison of wavelet and Joint Photographic Experts Group lossy compression methods applied to medical images; J.Digit.Imaging; *12*

45. Kayser K., Drlicek M., Rahn W.; 1993; Aids of telepathology in intra-operative histomorphological tumor diagnosis and classification; In Vivo.; *7*; 395-398

46. Kayser K.; 1995; Telepathology in Europe – its practical use; Arch.Anat.Cytol.Pathol.; *43 (4)*; 196-199

47. Kayser K., Kayser G.; 1999a; Basic aspects of and recent developments in telepathology in Europe, with specific emphasis on quality assurance; Anal.Quant.Cytol.Histol.; *21*; 319-328

48. Kayser K., Szymas J., Weinstein R.S.; 1999b; Telepathology. Telecommunication, Electronic Education and Publication in Pathology; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg; *ISBN: 3-5406-5245-0*

49. Kayser K., Ziol M.; 2000a; New technical aspects in telepathology; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*

50. Kayser K., Beyer M., Blum S., Kayser G.; 2000b; Recent developments and present status of Telepathology; Anal.Cell.Pathol.; *21 (3,4)*; 101-106

51. Krupinski, E. A., Weinstein R. S., Rozek L. S.; 1996; Experience-related differences in diagnosis from medical images displayed on monitors; Telemed.J.; *2*; 101-108

52. Kuakpaetoon T., Stauch G., Visalsawadi P., Bollmann R.; 1998; Image quality and acceptance of telepathology; Adv.Clin.Path.; *2*; 149

53. Lattner S., Good W., Maitz G.; 1996; Visually weighted assessment of image degradation resulting from image compression; Proc SPIE, *2707*: 507-518

54. Leong A. S. Y., Visinoni F., Visinoni C., Milios J.; 2000; An advanced digital image-capture computer system for gross specimens: a substitute for gross description; Pathology; *32*; 131-135

55. Loane M. A., Gore H. E., Corbett R., Steele K., Mathews C., Bloomer S. E., Eedy D. J., Telford R. W., Wootton R.; 1997; Preliminary results from the Northern Ireland arms of the UK Multicentre Teledermatology Trial: effect of camera performance on diagnostic accuracy; J.Telemed.Telecare.; *3 Suppl 1*; *73*-75

56. Marcelo A., Fontelo P., Farolan M., Cualing H; 2000; Effect of image compression on

telepathology; Arch.Pathol.Lab.Med.; *124*; *11*

57. Martin E., Dusserre P., Got C., Vieillefond A., Franc B., Brugal G., Retailliau B.; 1995; Telepathology in France. Justifications and developments; Arch. Anat.Cytol.Pathol.; *43(4)*; *191-195*
58. Muller M. L., Ganslandt T., Eich H. P., Lang K., Ohmann C., Prokosch H. U.; 2001; Towards integration of clinical decision support in commercial hospital information systems using distributed, reusable software and knowledge components.; Int J Med Inf.; *64 (2-3);* 369-377
59. Mullick F. G., Fontelo P., and Pemble C.; 1996; Telemedicine and telepathology at the Armed Forces Institute of Pathology: history and current mission; Telemed.J.; *2*; *187-193*
60. Nordrum I., Engum B., Rinde E., Finseth A., Ericsson H., Kearney M., Stalsberg H., Eide T. J.; 1991; Remote frozen section service: a telepathology project in northern Norway; Hum.Pathol.; *22*; *514-518*
61. Nordrum I.; 1996; Telepathology. Is there a future?; Telemed.Today; *4*; *24-26*
62. Nordrum I.; 1998a; Real-time diagnoses in telepathology; Adv.Clin.Path.; *2*; *127-131*
63. Nordrum I., Amin A., Isaksen V., Johansen M., and Ludvigsen J.-A.; 1998b; Still image consultations via e-mail in surgical pathology. A study of diagnostic accuracy; Adv.Clin.Path.; *2*; *154-156*
64. Oberbarnscheidt P., Hufnagl P, Guski H., Hauptmann S., and Dietel M.; 2000; Analysis of erorrs in telepathology; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*
65. Oberholzer M., Fischer H. R., Christen H., Gerber S., Bruhlmann M., Mihatsch M., Famos M., Winkler C., Fehr P., Bachthold L.; 1993; Telepathology with an integrated services digital network--a new tool for image transfer in surgical pathology: a preliminary report; Hum.Pathol.; *24*; *1078-1085*
66. Okomura A., Suzuki J., Furukawa I., Ono S., Ashihara T.; 1997; Signal analysis and compression performance evaluation of pathological microscopic images; IEEE Trans.Med.Imaging; *16*; *701-710*
67. Persons K., Palisson P., Manduca A., Erickson B. J., Savcenko V.; 1997; An analytical look at the effects of compression on medical images; J.Digit.Imaging; *10*; *60-66*
68. Provost N., Kopf A. W., Rabinovitz H. S., Stolz W., DeDavid M., Wasti Q., Bart R. S.; 1998; Comparison of conventional photographs and telephonically transmitted compressed digitized images of melanomas and dysplastic nevi; Dermatology.; *196*; *299-304*
69. Reinvest-Aktienclub; Unternehmensanalyse Microsoft; 2001; Online; *http://www.reinvest.de/analysen/*
70. Rhee M. Y.; 1994; Cryptography and Secure Data Communications; McGraw-Hill, *ISBN: 0-0711-2502-7*
71. Riesel H.; 1994; Prime Numbers and Computer Methods for Factorization; Birkhauser, *ISBN 0-8176-3743-5*
72. Roland Berger & Partner GmbH; 1997; Telematik im Gesundheitswesen; *1-162*
73. Sawai T., Goto K., Watanabe M., Endoh W., Ogata K., Nagura H.; 1999; Constructing a local district telepathology network in Japan. Diagnosis of intraoperative frozen sections via telepathology over an integrated service digital network and the National Television Standard Committee System; Anal.Quant.Cytol.Histol.; *21*; *81-84*

74. Schwarzman P., Binder B., Klose R.; 2000; Technical aspects of Telepathology with emphasis on future development; Anal.Cell.Pathol.; *21 (3,4);* 107-126

75. Seiwerth S.; 2000; Telepathology and Teleradiology; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*

76. Stauch G., Schweppe K. W.; 1995; One year experience with telepathology for frozen sections. Electronic journal of Pathology and Histology, VaW (Verlag für angewandte Wissenschaften), München

77. Steinwandt R.; 1994; Dissertation: Multimedia Datenformate; Institut für Betriebs- und Dialogsysteme Abteilung für Dialogsysteme und graphische Datenverarbeitung; Online: *http://i31www.ira.uka.de/docs/semin94/*

78. Stolte M.; 1999, Schnellschnitt-Diagnostik per "Telepathologie"; Der Pathologe; *6*; *373*

79. Szymas J.; 2000; Telepathology in Poland, present status and future aspects; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*

80. Telemedizinführer Deutschland 2000, Hrsg. A. Jäckel, Deutsches Medizin Forum, *ISBN 3-0000-4589-9*

81. Tennstedt C., Hufnagl P., Nguyen-Dobinsky T. N., Chaoui R., Bollmann R., Urban M., Körner H., Tietz S., Tietz P., Dietel M.; 1997. Moderne, an klinischen Anforderungen orientierte Fetalautopsie unter Nutzung von informationstechnischen Methoden. Pathologe *6*: 445-452.

82. Tennstedt C., Meyer R., Hufnagl P., Vogel M., Chaoui R., Goltz D., Dietel M.; 2000a. Sektionstechniken bei kongenitalen Herzfehlbildungen – Auswirkungen der Ergebnisse der pränatalen Diagnostik auf Sektionsplanung und -durchführung. Pathologe *21*: 240-246.

83. Tennstedt C., Sunkel-Wehrstedt K., Vogel M., Hufnagl P.; 2000b. Diagnosis of congenital heart malformations - possibilities for the employment of telepathology. Anal Cell Pathol *21*: 229-235.

84. Tennstedt C., Vogel M.; 2000c. Autopsie von Feten: Vorschlag einer Untersuchungsstrategie als Entscheidungshilfe bei der Sektion von Feten mit spezieller Fragestellung. Pathologe *5*: 382-387.

85. Tennstedt C., Vogel M.; 2000d. Die Rolle der Pathologie im Perinatalzentrum der Charité. Humboldt-Spektrum *4*: 14-23.

86. Tennstedt C., Hufnagl P., Chaoui R., Körner H., Dietel M.; 2001a. Fetal autopsy: Essential changes in the last few years. Eur J Obstet Gyn RB *3970*: 1-6.

87. Tennstedt C., Hufnagl P., Körner H., Vogel M., Dietel M., Chaoui R.; 2001b; Fetal autopsy: the most important contribution of pathology in a center for perinatal medicine; Fetal.Diagn.Ther.; *16 (6);* 384-393

88. Tennstedt C., Hufnagl P., Chaoui R., Körner H., Dietel M.; 2001c; Fetal autopsy: a review of recent developments; Europ.J.Obstet.GynecolReprod.Biol.; *99 (1);* 66-71

89. Wehrstedt K., Tennstedt C., Hufnagl P.; 2000a; Telepathology in fetal pathology; Electronic Journal of Pathology and Histology; *6 (3)*

90. Wehrstedt K., Tennstedt C., Hufnagl P.; 2000b. Improvement of fetal diagnostics using telepathology. Telemedicine: Medicine and Communication; Kluwer Academic/Plenum: 51-60.

91. Wehrstedt K., Hufnagl P., Dietel M.; 2001; Demands on the quality of macroscopic images for telepathology; Virchows Archiv, *Vol. 439 (3*), 327

92. Weinstein R. S.; 1986; Prospects for telepathology; Hum.Pathol.; *17*; *433-434*

93. Weinstein R. S., Bhattacharyya A., Yu, Y. P., Davis J. R., Byers J. M., Graham A. R., Martinez R.; 1995; Pathology consultation services via the Arizona-International Telemedicine Network; Arch.Anat.Cytol.Pathol.; *43;* 219-*226*

94. Weinstein R. S., Bloom K. J., Rozek S.; 1997a; Telepathology and the networking of pathology diagnostic services; Arch.Pathol.Lab.Med.; *11*; 646-652

95. Weinstein R. S., Bhattacharyya A. K., Graham A. R., Davis J. R.; 1997b; Telepathology: a ten-year progress report; Hum.Pathol.; *28*; 1-7

96. Wells C. A., Sowter C; 2000; Telepathology: a diagnostic toll for the millenium?; J.Pathol. 2000; *191*; 1-7

97. Williams B. H.; 1998; The AFIP center for telemedicine application-pathology for the twenty-first century; Telemed.Virtual.Real., *3 (6);* 64-65

98. Winokur T. S., McClellan S., Siegal G. P., Reddy V., Listinsky C. M., Conner D., Goldman J., Grimes G; 1998; An initial trial of a prototype Telepathology system, featuring static imaging with discrete control of the remote microscope; Am.J.Clin.Pathol.; *110* (1); 43-49

99. Yogesan K., Constable I. J., Eikelboom R. H., van Saarloos, P. P.; 1998; Tele-ophthalmic screening using digital imaging devices; Aust.N.Z.J.Ophthalmol.; *26 Suppl 1*; 9-11

Anhang

Alphabetisches Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Fachbegriffe

Bezeich-nung	Erklärung	Bemerkungen
AFIP	**A**rmed **F**orces **I**nstitute of **P**athology	Pathologisches Institut der amerikanischen Streitkräfte
ATM	**A**synchronous **T**ransfer **M**ode	Übertragungsstandard für gleich große Datenpakete; erlaubt Übertragungsgeschwindigkeiten bis zu 144 Mbit/s
ASA	Angabe zur Filmempfindlichkeit (ASA-Skala)	Heute wird die ISO-Bezeichnung verwendet (Wert aus ASA und DIN-Wert)
ASCII	**A**merican **S**tandard **C**ode	Kodierungsvorschrift in der Datenverarbeitung
BMP	**Bitmap**	Standard Bildformat im Betriebssystem Windows
BNC	**B**ritish-**N**aval-**C**onnector	Hochfrequenz-Verbindungstechnik
bpp	**B**it **p**ro **P**ixel; Informationsmenge, die zur Abspeicherung eines Pixels zur Verfügung steht	8 Bit pro Pixel sind gleich 256 Farben 16 bpp = 65.000 Farben 24 bpp = 16,7 Millionen Farben
CCD	**C**harge-**C**ouple **D**evice	Halbleiter-Bildsensor (Chip) in digitalen Kameras
dB	**Dezib**el	Maßeinheit für die PSNR, ein objektives Kriterium der Bildqualität
DCT	**D**iskrete **C**osinus-**T**ransformation	Grundlage der JPEG-Kompression
DICOM	**D**igital **I**maging and **Co**mmunication in **M**edicine	Standard für Bildaufnahme und Austausch in der Medizin
DIN	**D**eutsche **I**ndustrie **N**orm	
dpi	**D**ots **p**er **I**nch, Punkte pro 2,54 cm	Auflösungsmaß
DWT	**D**iskrete **W**avelet-**T**ransformation	Grundlage der WAVELET-Kompression
FDDI	**F**ibre **D**istributed **D**ata **I**nterface; Benutzung von Glasfaserkabeln	
Gb	**Giga**byte, 1 Gb = 1024 MB	Speichermenge
GIF	**G**raphics **I**nterchange **F**ormat	Standard Bildformat im Internet für Indizierte Farbbilder
H.323	Standard für Audio- und Videokonferenzen	wird von vielen gängigen Telefonie- bzw. Konferenz-Anwendungen unterstützt
HL7	**H**ealth **L**evel Seven	Standard für elektronischen Datenaustausch in der Medizin
Hz	**H**ertz (Einheit der Frequenz)	1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde
ISDN	**I**ntegrated **S**ervices **D**igital **N**etwork	Digitaler Telefonstandard
JPEG	**J**oint **P**hotographic **E**xperts **G**roup	Standard Bildformat
Kb	**Kilo**byte, 1Kb = 1024 Byte	Datenmenge
KBps	**K**ilo **B**it **p**ro **S**ekunde	
LAN	**L**ocal **A**rea **N**etwork	
Mb	**Mega**byte, 1MB = 1024 x 1024 Byte	Datenmenge
MBps	**M**ega **B**it **p**ro **S**ekunde	Geschwindigkeitsmaß bei der Datenübertragung
MHz	**Mega**hertz	Einheit der Frequenz
PAL	**P**hase **A**lternation **L**ine; d.h. zeilenweise Phasenänderung	Norm für Farbfernsehen; deutsche Fernsehnorm mit einer Auflösung von 768 x 576 und einer Framerate von 25 bzw. 50 Halbbilder pro Sekunde
PC	**P**ersonal **C**omputer	
PCI-Bus	**P**eripheral **C**omponent **I**nterconnect **B**us	
PIA	**P**rofessional **I**mage **A**rchiving	Interdisziplinäre Bild- und Fall-Datenbank für Pränataldiagnostik und Fetalpathologie, (Viewpoint Bildverarbeitung GmbH)
Pixel	Bildpunkte eines digitalen Bildes	Kunstwort aus Picture and Element
Pel	Bildpunkte eines digitalen Bildes	Kunstwort aus Picture and Element
PSNR	**P**eak **S**ignal to **N**oise **R**atio	objektives Maß für die Bildqualität
RAM	**R**andom **A**ccess **M**emory	Arbeitspeicher
RGB	**R**ot- **G**rün- **B**lau	Farbmodus
SNR	**S**ignal-to-**N**oise-**R**atio	Gütemaß für Komprimierungen (Signal-Rausch-Verhältnis)
SSW	**S**chwanger**s**chafts**w**oche	
S-VHS	**S**uper-**VHS (= V**ideo **H**ome **S**ystem**)**	Video Standard (Auflösung: 320 x 240 Pixel)
TIFF	**T**agged **I**mage **F**ile **F**ormat	Standard Bildformat
SNOMED	**S**ystematized **N**omenclature **o**f human	Medizinischer Thesaurus

	and veterinary **Med**icine	
TPCC	**T**ele**p**athology **C**onsultation **C**entre	
TPS	**T**ele**p**athologie**s**ystem vertrieben durch die Firma Leica	Software, entwickelt von Leica Microsystems Wetzlar GmbH, dem Institut für Pathologie und der Abt. Pränatale Diagnostik der Universitätsfrauenklinik der Charité, Berlin seit 1998
TU	**T**echnische **U**niversität	
UICC	**U**nion **I**nternationale **C**ontre le **C**ancer	International Union Against Cancer
VML	**V**ector **M**arkup **L**anguage	Erweiterung von XML, ist ein Kodier-Format für Vektorinformationen im Internt
WAN	**W**ide **A**rea **N**etwork	
XML	e**X**tensible **M**arkup **L**anguage	Standard Programmiersprache im Internet (geeignet für Datenbanken)
Y/C	**Y**-Luminanz; **C**-Chrominaz	Begriff aus der Fernseh- und Videotechnik, Standardzur Übertragung hochwertiger Videosignale (z.B. S-VHS)

Abbildungsverzeichnis

Abb. Nr.		Beschriftung	Kapitel
1		*Interdisziplinäre Struktur eines Perinatalzentrums*	1.1
2		*Gliederung der Pathologie*	1.2.1
3		*Betreuung der Schwangeren innerhalb eines Perinatalzentrums und Beitrag der Pathologie*	1.2.2
4		*Einbettung der Telemedizin (aus: Roland Berger Studie, 1997)*	1.3.1
5		*Szenario I: Ein Pathologe in der Ausbildung konsultiert einen erfahrenen Pathologen*	1.3.3
6		*Szenario II: Zweite Meinung*	1.3.3
7		*Szenario III: Konsensfindung unter Experten*	1.3.3
8		*Schema der synchronen Kommunikation*	1.3.4
9		*Schema der asynchronen Kommunikation*	1.3.4
10		*Schema eines telepathologischen Einzelplatz-Systems (Server Seite)*	1.3.6
11		*Schema einer Punkt zu Punkt Verbindung*	1.3.6
12		*Telepathologie-Netzwerk der Charité Berlin*	1.3.6
13		*Online Makroskopie*	1.3.7
14		*Offline Makroskopie*	1.3.7
15		*Online Mikroskopie*	1.3.7
16		*Fernsteuerung*	1.3.7
17		*Offline Mikroskopie*	1.3.7
18		*Fetalpathologie-Arbeitsplatz im Institut für Pathologie der Charité*	3.1.1
19	*a*	*Fetus, ventral, 22. SSW, Übersichtsaufnahme mit Makroskop*	3.1.1
	b	*Rechte Hand des Fetus, Detailansicht mit Makroskop*	
	c	*Makroskop Wolfvision Visualizer VZ 15b*	
20	*a*	*Herz-Lungen-Paket eines Fetus, 22. SSW, Übersichtsaufnahme mit Stereomikroskop*	3.1.1
	b	*Herz-Lungen-Paket eines Fetus, 22. SSW, mittlere Vergrößerung*	
	c	*Herz-Lungen-Paket eines Fetus, 22. SSW, Detailbild mit Stereomikroskop*	
21		*Stereomikroskop Olympus SZH 10*	3.1.1
22		*Telepathologie-Arbeitsplätze, die im Rahmen der Studien Verwendung fanden*	3.2.1
23		*Screenshot der TPS-Oberfläche während einer Online Video-Konferenz*	3.2.2
24		*Darstellung einer Bildmatrix*	3.3
25		*Schema Auflösungsänderung: fetales Herz, hypoplastischer Linksherzkomplex, 22.SSW*	3.3.2
26		*Versuchsablauf (1-3)*	3.3.2
27		*Versuchsablauf (4-6)*	3.3.2
28		*Versuchsablauf (7-8)*	3.3.2
29	*a*	*Originalbild*	3.3.3
	b	*JPEG-Bild mit typischen Blockartefakten*	
30	*a*	*Originalbild*	3.3.3

	b	*WAVELET-Bild mittlerer Qualität*	
	c	*WAVELET-Bild geringster Qualität*	
31		*Ablaufschema JPEG- und WAVELET Kompression im Vergleich (aus Bruckmann et. al 1997)*	*3.3.3*
32		*PowerPoint Präsentation der Kompressionsreihen*	*3.3.3*
33		*Screenshot Fall 5: Startseite*	*3.4.2*
34		*Screenshot Fall 5: Übersicht (2. Seite)*	*3.4.2*
35		*Screenshot Fall 5: Bildbefund mit Falldaten*	*3.4.2*
36		*Screenshot Fall 5: Abkürzungsverzeichnis*	*3.4.2*
37		*Verschiedene Beleuchtungsverhältnisse am Beispiel der fetalen Lunge, 22. SSW*	*4.1.1*
38		*Reflexionsverhalten nativer innerer Organe*	*4.1.1*
39		*Reflexionsverhalten fixierter Organe*	*4.1.1*
40		*Auflösungsstudie im Hörsaal, Summationsgrafik*	*4.1.2*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
41		*Auflösungsstudie PowerPoint-Präsentation, Summationsgrafik*	*4.1.2*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
42		*Auflösungsstudie PowerPoint-Präsentation, Individuelle Schwellen*	*4.1.2*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
43		*Kompressionsstudie JPEG, PowerPoint-Präsentation, Summationsgrafik*	*4.1.3*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
44		*Kompressionsstudie JPEG, PowerPoint-Präsentation, Individuelle Schwellen*	*4.1.3*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
45		*Kompressionsstudie WAVELET, PowerPoint-Präsentation, Summationsgrafik*	*4.1.3*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
46		*Kompressionsstudie WAVELET, PowerPoint-Präsentation, Individuelle Schwellen*	*4.1.3*
	a	*1,5-fache Vergrößerung*	
	b	*2,5-fache Vergrößerung*	
	c	*3,5-fache Vergrößerung*	
47	*a*	*1,5-fache Vergrößerung, maximale JPEG-Kompression (1:170) PSNR=25,8 dB*	*4.1.3*
	b	*1,5-fache Vergrößerung, WAVELET-Kompression (1:170) PSNR=39,5 dB*	
	c	*1,5-fache Vergrößerung maximale WAVELET-Kompression (1:5750) PSNR=23,2 dB*	
48		*Vergleich von JPEG- und WAVELET-Kompression*	*4.1.3*
	a	*Kompressionsfaktor vs. PSNR*	
	b	*Qualitätsstufe vs. PSNR*	
	c	*Qualitätsstufe vs. Kompressionsfaktor*	

Tabellenverzeichnis

Tab. Nr.:	Beschriftung	Kapitel
1	Technische Bestandteile von Telepathologie-Systemen	1.3.5
2	Vergleich unterschiedlicher Datentransfermöglichkeiten	1.3.6
3	Technische Daten der Geräte am Fetalpathologie-Arbeitsplatz	3.1.1
4	Vergleich der wichtigsten Programme des Fetalautopsie-Arbeitsplatzes	3.1.1
5	Technische Ausstattung des Telepathologie-Arbeitsplatzes AMBA	3.2.1
6	Technische Ausstattung des Telepathologie-Arbeitsplatzes Paidopathologie	3.2.1
7	Routineeinsatz des TPS	3.2.3
8	Integration des TPS in den Arbeitsablauf einer Fetalsektion	3.2.4
9	Einflussfaktoren auf die Bildqualität von der Entstehung bis zur Präsentation makroskopischer Bilder	3.3.1
10	Geschwindigkeit der Versendung einer 1 Mb großen Bilddatei	3.3.1
11	Übersicht der durch Auflösungsänderung entstandenen Bilder	3.3.2
12	Darstellung von Auflösung und Bildgröße	3.3.2
13	JPEG komprimierte Bilder	3.3.3
14	WAVELET komprimierte Bilder	3.3.3
15	Autopsiefälle eines Monats (sequentiell der Routine entnommen)	3.4.1
16	Fälle mit komplizierten Herzfehlbildungen	3.4.2
17	Überblick über die Technik und das Material bei der Aufnahme makroskopischer Bilder	4.1.1
18	Monitorgröße und empfohlene Bildschirmeinstellung	4.1.1
19	Auflösungsstufen und die zugehörigen mittleren Dateigrößen	4.1.2
20	Vergleich der Kompressionen von JPEG und WAVELET	4.1.3
21	Vergleich der Kompressionsraten der Qualitätsstufen von JPEG und WAVELET	4.1.3
22	Vergleich der 50-Prozent-Schwellen bei JPEG und WAVELET mit Angabe des PSNR-Wertes	4.1.3
23	Diagnose und Autopsiedauer der 10 Routinefälle	4.2.1
24	Vergleich der einzelnen Arbeitsschritte bei konventioneller und telepathologischer Konsultation während einer Autopsie	4.2.2
25	Vergleich der für die Autopsie benötigten Zeiten (Online)	4.2.2
26	Zusammenhang zwischen Diagnose, Rückfragen, Bildzahl, Antwortzeit und Dateigröße	4.2.3
27	Anzahl der Bilder pro Fall, Dateigröße mit und ohne Kompression der Bilder	4.2.3
28	Aufbau und Inhalt der PowerPoint Datei	4.2.3
29	Vergleich der Arbeitsschritte von konventioneller und telepathologischer Konsultation (Zweite Meinung bei schwierigen Herzfehlbildungen)	4.2.4
30	Einsatz der technischen Geräte und Software in den einzelnen Studien	5.2.2
31	Ergebnis der Auflösungsstudie	5.3.1
32	Vergleich der Ergebnisse von Eikelboom und der Kompressionsstudie	5.3.1

Danksagung

Herrn Prof. Vogel, Leiter der Abteilung für Paidopathologie und Plazentologie des Institutes für Pathologie der Charité möchte ich für die Überlassung des Themas danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau PD Dr. med. Cornelia Tennstedt und Herrn Dr. rer. nat. Peter Hufnagl für die sehr gute Zusammenarbeit, die umfangreiche Betreuung und die viele Zeit, die sie mir bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit widmeten. Ebenso für die intensive fachliche Beratung und, dass mir zu jeder Tageszeit bei meinen Problemen geholfen wurde.

Frau Christel Scholz, Fotografin am Institut für Pathologie der Cahrité danke ich für die hilfreiche Unterstützung und Bereitstellung ihrer technischen Geräte bei der Durchführung der Bildstudien.
Ein Dankeschön gilt Frau Navena Widulin für die freundliche Gesellschaft und die Überlassung ihres Labors während der Fallstudien.
Ebenso möchte ich mich bei Herrn Dr. Karsten Schlüns bedanken, der mich bei technischen Fragen und Problemen jederzeit unterstützte.

Ein herzliches Dankeschön an alle geduldigen Teilnehmer bei den Bildstudien.

Weiterer Dank gilt Frau Gabriele Schmidt, Judith Schlesner, Gudrun Bayer, Peter Oberbarnscheidt, Valeria Renz, Torsten Feig, Dr. med. Martin Schultz und Dr. med. Stefan Gardziella für die gute Zusammenarbeit und die nette Atmosphäre, sowie zahlreiche Anregungen und Diskussionen.

Meinem Mann, Niels Hamann, möchte ich für die ständige Hilfestellung und die besondere Motivation in der schweren Zeit bedanken. Bei meinen Eltern und Großeltern bedanke ich mich für die langjährige Unterstützung während meines Medizinstudiums.

Kathrin Hamann

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die eingereichte Dissertationsschrift mit dem Thema

„Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes der Telepathologie in der Fetalpathologie“

von mir selbst und ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.

Berlin, den 26.04.2002

Kathrin Hamann